NOTIONS

ÉLÉMENTAIRES

DE PHYSIQUE,

AVEC PLANCHES,

A L'USAGE DES MAISONS D'ÉDUCATION,

PAR

JOSEPH CAUCHON,

Etudiant en Droit.

F. M. Derome.

Quebec:

IMPRIMÉ PAR FRÈCHETTE & CIE., IMPRIMEURS-LIBRAIRES,

No. 13, RUE LAMONTAGNE,

Basse-Ville, Québec.

1841.

1841
(13)

DISTRICT DE QUEBEC.

BUREAU DU PROTONOTAIRE,

Le 9e jour de Décembre, 1841.

QU'IL SOIT NOTOIRE que, le neuvième jour de Décembre de l'an mil-huit-cent-quarante-un, JOSEPH CAUCHON, de la Cité de Québec, Etudiant en Droit, a déposé dans ce Bureau, le titre d'un livre, le titre duquel est dans les mots suivants, " Notions élémentaires de Physique, " avec planches, à l'usage des Maisons d'Education, par Joseph Cauchon, " Etudiant en Droit, " au sujet duquel il réclame le droit de propriété comme propriétaire.

Enrégistré en conformité à l'Acte Provincial, intitulé, " Acte pour protéger la pro- " priété littéraire. "

PERRAULT & BURROUGHS,

Protonotaire de la Cour du Banc du Roi du District de Québec.

87318

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

Notre intention, en publiant ce petit traité, a été de mettre au niveau des écoles et de toutes les classes de la société une science qu'il leur est utile de connaître et qu'il leur eût été trop pénible d'aller chercher dans des ouvrages plus étendus. Nous nous sommes efforcé d'être clair et nous avons tâché d'être précis afin de faire entrer le plus de matière possible dans un cadre aussi étroit. Cependant nous n'avons rien omis de ce qui peut intéresser ; nous avons expliqué les phénomènes les plus ordinaires de la nature, ceux qui se passent tous les jours sous nos yeux, ceux auxquels nous ne portons pas attention, parce que nous les voyons souvent, mais dont la connaissance peut nous être très-utile. Les expériences les plus simples et les plus faciles, étant souvent les meilleurs, nous ne manquerons pas de les indiquer de préférence.

Maintenant nous allons expliquer ce qu'on entend par physique.

La physique, prise dans son sens le plus général, dans son acception la plus étendue, est tout ce qui constitue l'étude des lois, des phénomènes et de l'ordre de la nature ; mais comme les perceptions de l'homme sont trop faibles et que sa vie est trop courte pour embrasser tant d'objets à la fois et les approfondir, il a fallu la diviser. Delà les sciences que l'on appelle *physique*, *chimie*, *histoire naturelle*.

La physique est une science qui a pour objet l'étude des actions réciproques des corps que l'on peut voir, toucher, peser et que l'on nomme *corps pondérables ;* et celle de plusieurs fluides qui paraissent dépourvus de pesanteur, et dont la matérialité n'est encore qu'une supposition probable : on les nomme *fluides impondérables*.

La chimie a pour objet les actions intimes et réciproques des corps pondérables. Cette dernière science diffère de la physique, en ce que dans la physique on considère les actions des corps les uns sur les autres, lorsqu'elles ne changent pas leur nature ; tandisque dans la chimie on considère les actions intimes et réciproques des corps, lorsqu'elles changent leur nature.

Enfin l'histoire naturelle constitue l'étude de la classification de tous les corps de la nature, qu'elle divise, 1o. en corps inorganiques, objets de la minéralogie, 2o. en corps *organisés*, *végétaux et animaux*, objets de la *botanique* et de la *zoologie*.

q
t

d

e
l

L
b
n
p
l
s
d

t
z
l

u
l

b
l'
s
q
p
c

d

NOTIONS

ÉLÉMENTAIRES

DE

PHYSIQUE.

LA matière est tout ce qui est formé de parties, et, par conséquent, tout ce qui est divisible, tout ce que l'on peut voir et toucher, tout ce qui a de l'étendue.

Dès que l'on pense à une partie déterminée de la matière on a l'idée d'un corps : ainsi la terre est un corps, une pierre est un corps, &c.

Les corps se divisent en *corps pondérables*, ou que l'on peut peser, et en fluides *impondérables*, ou que l'on ne peut peser, tels que le calorique, l'électricité, le magnétisme, la lumière.

Les corps pondérables se présentent à nous sous trois états différents. Lorsqu'ils ont une forme extérieure fixe qu'on ne peut leur faire abandonner sans employer une force plus ou moins considérable, on les nomme corps solides ; lorsqu'ils cèdent facilement à la plus légère pression et qu'ils prennent la forme des vases qui les contiennent, on les nomme corps liquides ; enfin, si les parties qui les constituent paraissent entièrement dépourvues d'adhérence, on les désigne sous le nom de corps gazeux.

PROPRIETES GENERALES DES CORPS.

On appelle *propriétés générales* des corps celles qui conviennent à tous les corps de la nature, quelque soit leur état, solide, liquide ou gazeux ; elles sont au nombre de quatre, l'étendue, l'impénétrabilité, la mobilité et la divisibilité.

De l'étendue. Tout corps a de l'étendue, c'est-à-dire qu'il occupe un certain lieu dans l'espace : l'étendue a nécessairement trois parties, la longueur, la largeur et la profondeur.

De l'impénétrabilité. On entend par *impénétrabilité* l'impossibilité où sont deux corps d'occuper en même temps la même partie de l'espace ; ainsi quand on voit les bois, les éponges s'imbiber d'eau sans changer de volume apparent, c'est que ces corps sont poreux, puisque tous les corps de la nature le sont, et que par conséquent le liquide pénètre dans les espaces qui se trouvent entre les différentes parties de ces corps, mais n'occupe pas la place de ces parties.

De la mobilité. On entend par *mobilité* la faculté qu'ont les corps de se mouvoir, lorsqu'ils sont sollicités par une force quelcon-

que. On dit qu'un corps est en mouvement, lorsqu'il passe d'un lieu dans un autre. Ainsi *mobilité* et *mouvement* sont des choses bien différentes ; puisqu'un corps en repos est aussi mobile qu'un corps en mouvement ; puisque mobilité signifie la faculté de se mouvoir et non le mouvement.

On distingue deux sortes de mouvements le *relatif* et *l'absolu* ; le premier a lieu lorsqu'un corps est en repos par rapport à un autre corps qui est lui-même en mouvement, et le second lorsqu'un corps est en mouvement par rapport à un autre corps que l'on regarde comme fixe. Ainsi un homme, qui est arrêté sur un steam-boat, est en mouvement relatif par rapport aux autres objets que le steam-boat ; s'il marche sur le steam-boat, il est en mouvement absolu par rapport au steam-boat qui est alors considéré comme un objet fixe : mais nous ne connaissons pas dans la nature de véritables mouvements absolus, non plus que de véritables repos absolus, puisque nous ne connaissons point de corps en repos, puisque tous les points à la surface de la terre sont en mouvement continuel autour du soleil, et que tout notre système planétaire paraît être emporté lui-même dans l'espace.

On entend par *repos* l'immobilité d'un corps qui n'est sollicité par aucune force et qui est livré à lui-même, et par *équilibre* l'immobilité d'un corps qui est soumis à l'action de certaines forces, mais qui se détruisent mutuellement. Tout ce qui est en repos est en équilibre, puisque tous les corps de la nature sont soumis à des forces qui agissent continuellement sur eux.

On appelle *forces* les causes, quelles qu'elles soient, qui produisent ou qui tendent à produire le mouvement.

On désigne sous le nom de *vitesse* le mouvemeut plus ou moins rapide d'un corps. La vitesse d'un corps se mesure par l'unité de temps donné. La vitesse d'un corps par rapport à celle d'un autre corps se mesure sur l'espace plus ou moins grand qu'il parcourt dans le même temps : ainsi l'on dira que la vitesse d'un corps est double, triple de celle d'un autre corps, lorsque dans le même temps il a parcouru un espace double, triple.

On entend par *inertie* l'impossibilité où est la matière de pouvoir se donner le mouvement lorsqu'elle est en repos, ou de pouvoir se donner le repos lorsqu'elle est en mouvement. S'il n'y avait pas des forces qui agissent continuellement sur les corps pour les arrêter ou pour modifier leurs mouvements, lorsqu'une fois on leur aurait donné l'impulsion, ils se mouvraient, avec une vitesse constante, dans une ligne droite, sans s'arrêter jamais. Les globes célestes parcourent l'espace avec la vitesse initiale que leur a donnée le Créateur. Il est vrai qu'ils ne vont pas en ligne droite ; mais c'est parceque leur mouvement est modifié par la force de gravitation.

Les forces, qui agissent sur les corps, sont proportionnelles aux vitesses qu'elles impriment à ces corps ; c'est-à-dire que, si deux forces égales agissent sur deux corps de même masse, ils vont avec la même vitesse, et que, si l'une des forces est double, triple de l'autre, le corps qu'elle fera mouvoir, ayant toujours même masse que l'autre, aura une vitesse double, triple. On entend par *masse* la quantité de matière contenue dans un corps sous un volume donné.

COMPOSITION DES FORCES QUI SOLLICITENT UN CORPS.

Un corps, qui est sollicité par plusieurs forces, ne peut suivre dans sa route qu'une seule direction ; on peut toujours remplacer ces forces, qui agissent sur un corps, par une seule force qui produit le même effet : on appelle cette force *résultante*.

Si plusieurs forces agissent suivant la même direction et dans le même sens, la résultante de ces forces sera égale à leurs sommes ; mais si quelques unes de ces forces agissent toujours dans la même direction, mais en sens contraire des autres, la résultante sera égale à la différence des sommes de ces forces.

On peut trouver la résultante de deux ou de plusieurs forces de la manière qui suit :

On prend deux forces quelconques OA et OB (fig : 1) ; on mène à l'extrémité de ces deux forces deux autres ligues AF et FB, parallèles à ces deux forces ; on tire ensuite une ligne OF, que l'on appelle *diagonale*, du point O à l'angle opposé F, et cette diagonale est la résultante des forces OA et OB. Maintenant si l'on veut déterminer la résultante d'une troisième force, de OC, par exemple, on prend cette force et la résultante que l'on vient de trouver OF, et l'on mène à l'extrémité de ces deux lignes CR et RF, deux autres lignes parallèles à ces deux forces ; on tire une diagonale OR, du point O à l'angle opposé R, et cette diagonale est la résultante entre ces deux dernières forces. On continuerait de la même manière pour un plus grand nombre de forces.

De la même manière que l'on obtient la résultante de plusieurs forces, l'on peut aussi décomposer une force en plusieurs autres, en tirant, de l'une des extrémités de cette force, deux lignes, sous un angle quelconque, et en conduisant, à l'extrémité de ces deux lignes, deux autres lignes qui leur soient parallèles, de manière que la force à décomposer soit la diagonale entre ces lignes. On fera la même chose pour deux autres forces, en prenant toujours la force à décomposer pour diagonale. C'est sur ce principe de la décomposition des forces qu'est appuyée la construction des kais en talu et des bastions ; plus leur pente est inclinée, plus la force perpendiculaire diminue, moins ils opposent de résistance à la glace ou au boulet, et plus par conséquent ceux-ci glissent facilement.

Divisibilité. Tous les corps sont divisibles, et pour un grand nombre, la division peut être portée jusqu'à un point qui étonne l'imagination. Par exemple, des fils d'argent dorés, dont on se sert pour la broderie, s'obtiennent en passant à la filière un cylindre d'argent recouvert de plusieurs lames d'or dont le poids est d'un once : on parvient à obtenir un fil aussi délié qu'un cheveu, dont tous les points sont recouverts d'or et de la longueur de cent onze lieues. La couche d'or qui recouvre le fil d'argent est alors 178, 284 fois plus mince qu'une ligne. Ce fil applati au laminoir a une demi-ligne de largeur, et on peut le considérer comme recouvert de deux lames d'or. Comme chacune de ces lames peut être divisée dans le sens de sa largeur en deux parties visibles, et que chaque 9-20me. à peu près de ligne en longueur peut être également divisé en huit parties appréciables, on obtiendra par cette opération 14 millions de parties visibles.

Les substances odorantes peuvent être divisées en parties bien plus petites encore. Un grain de musc, par exemple, exposé longtemps dans une chambre très-vaste, après avoir, pendant tout ce temps, répendu ses émanations, d'une manière incommode, n'a pas diminué sensiblement de volume.

Mais malgré cette prodigieuse divisibilité de la matière il paraît qu'elle n'est pas divisible à l'infini, et que l'on arriverait enfin à des parties extrêmement petites que l'on appelle *atomes* ou *molécules*, et qu'il serait impossible de diviser.

DES FORCES PERMANENTES QUI AGISSENT SUR LES CORPS.

Les forces permanentes qui agissent sur les corps sont l'attraction, qui paraît une propriété inhérente à la matière, et la force élastique de la chaleur.

On appelle cette attraction *gravitation* lorsqu'il s'agit de l'attraction des corps célestes ; on lui donne le nom de *pesanteur*, lorsqu'on la considère dans l'action de la terre sur les corps qui sont à sa surface ; enfin on la désigne sous le nom *d'attraction moléculaire*, lorsqu'il s'agit de l'attraction qui a lieu entre les molécules des corps.

En général tous les corps qui sont laissés à eux-mêmes se précipitent vers la terre ; mais il y en a qui demeurent suspendus à des hauteurs plus ou moins considérables ; il y en a même qui s'éloignent de la terre et qui montent. Nous allons donner la raison de ces différents phénomènes. Nous savons que la terre est environnée de toutes parts d'un corps gazeux d'une certaine pesanteur qu'on appelle *air*, mais dont la masse ou l'ensemble porte le nom *d'atmosphère* : tous les corps donc qui sont à la surface de la terre sont plongés dans ce gaz.

A présent il faut établir pour principe qu'un corps, plongé dans un fluide quelconque, perd de son poids une quantité égale au poids du volume de fluide que ce corps déplace, c'est-à-dire, par exemple, que si un corps pèse quatre livres et qu'il déplace un volume de fluide dont la pesanteur soit d'une livre, il ne pesera plus que trois livres après son immersion dans ce fluide. Mais si ce corps ne pèse qu'une livre et qu'il reste suspendu dans le fluide, il faut qu'il ait déplacé un volume de ce fluide dont le poids est égal aux sien, et que sa pesanteur spécifique soit égale et opposée à celle du fluide Ainsi, quand l'on voit un corps descendre, monter, ou rester en équilibre dans un fluide, on juge qu'il a une pesanteur spécifique plus grande, moindre ou égale à celle de ce fluide. C'est donc la pesanteur et la pesanteur plus grande de l'air qui soutient les nuages, fait monter la fumée et les ballons ; c'est donc encore la pesanteur qui produit tous les autres phénomènes analogues dans les différents liquides.

Tous les corps qui sont à la surface de la terre s'attirent les uns les autres ; mais cette attraction s'exerçant en raison directe des masses, et la masse de la terre étant infiniment plus grande que celle de ces corps, il en résulte que leur attraction les uns sur les autres est rendue insensible par la grande attraction de la terre sur eux. Cependant Mr. Cavendish est parvenu au moyen d'un appareil très-ingénieux à prouver cette attraction réciproque des corps, en les soustrayant à l'influence de la pesanteur.

Verticale. On entend par *verticale* la direction que prend un corps qui tombe librement à la surface de la terre; on la détermine au moyen d'un fil à plomb. Il est évident que si ce fil était prolongé indéfiniment, il passerait par le centre de la terre, où se trouve placé le centre des attractions, et que la verticale est différente pour chaque différent lieu de la terre; puisque sans cela la verticale ne passerait pas toujours par le centre de la terre. C'est cette direction de la verticale qui détermine le haut et le bas de chaque point du globe. Ces expressions sont donc relatives, et le haut et le bas pour chaque différent lieu varient donc comme la direction de la pesanteur.

Centre de gravité. Il y a plusieurs définitions *du centre de gravité* qui toutes reviennent à la même chose. On définit *le centre de gravité* un point dans un corps qui a autour de lui une égale portion de ce corps, de quelque manière qu'il se trouve situé; ou bien, comme l'on peut considérer toutes les forces qui agissent sur les différentes molécules d'un corps comme parallèles et égales, et que l'on peut toujours remplacer toutes ces forces par une force unique égale à leur somme, on peut définir *le centre de gravité* un point où s'applique la résultante de toutes les attractions qu'exerce la terre sur ce corps. Il y a plusieurs moyens de trouver le centre de gravité, mais voici le plus simple; on suspend un corps par le moyen d'un fil, et l'on suppose en idée que la ligne formée par le fil pénètre à travers le corps. Ensuite on suspend le corps par un autre de ses points, et l'on suppose encore que le fil passe à travers le corps; il est clair que ces deux lignes se couperont en un point. Eh! bien, ce point sera le centre de gravité. De quelque manière que vous placiez ensuite ce corps, pourvu que son centre de gravité soit soutenu, c'est-à-dire, pourvu que la verticale passe par son centre de gravité, il demeurera en équilibre stable.

D'où il suit que, lorsqu'un corps solide est posé sur un plan horizontal, ce corps ne pourra être en équilibre, 1o. que quand le plan opposera à la gravité du corps une force égale à cette gravité; 2o. que si le corps ne touche le plan qu'en un seul point, il ne sera en équilibre que lorsque la verticale de son centre de gravité passera par ce point; 3o. que si le corps touche le plan dans plusieurs points, la verticale de son centre de gravité devra passer par l'un de ces points ou dans l'espace compris entre ces points. Ainsi une table est en équilibre stable quand la verticale de son centre de gravité passe entre ses quatre pieds. Le corps d'un homme ne peut se soutenir, si la verticale de son centre de gravité sort de l'espace compris entre et sous ses deux pieds. Lorsque ses bras sont pendus et que ses jambes sont droites, ainsi que le reste de son corps, son centre de gravité se trouve à peu près placé entre ses deux hanches. Mais cette position n'est pas la seule condition d'équilibre pour l'homme, puisque son centre de gravité varie avec les différents mouvements de son corps; il suffit que la verticale de son centre de gravité passe par sa base qui sont ses pieds. Ainsi, s'il porte un fardeau devant lui, il est obligé d'incliner le haut de son corps en arrière, comme font nécessairement ceux qui ont un gros ventre; s'il porte un fardeau d'un côté, il se panche de l'autre, et par la même raison, quand un homme a dans chaque main un fardeau de même

poids, il se tient droit. Quand il est assis et qu'il veut se relever, il est obligé d'incliner la tête en avant pour ramener la verticale de son centre de gravité sous sa base. Personne, s'il veut en faire l'expérience, ne pourra se relever, en suivant les conditions suivantes, savoir : qu'il ne ramenera pas ses pieds sous la chaise, qu'il tiendra son corps et ses jambes droites et perpendiculaires. De même un homme qui se tient droit, debout, ayant les talons et le reste du corps adossés à la muraille, ne peut sans tomber, s'incliner fortement en avant.

Un corps est dans un équilibre d'autant plus stable que sa base est plus large et que son centre de gravité est placé plus bas ; voilà pourquoi il est si facile de faire rouler une boule ou un cercle, leur centre de gravité étant placé au milieu de leur hauteur, et leur base n'étant qu'un point ; voilà pourquoi il est si difficile de faire tenir une canne en équilibre, son centre de gravité étant placé si haut et sa base étant si petite ; voilà pourquoi aussi une voiture étroite et élevée verse si facilement, parceque le moindre choc suffit pour faire échapper la verticale de son centre de gravité de la base. On ne doit pas ignorer non plus combien il serait dangereux, en chargeant un vaisseau, de ne pas mettre les matières les plus pesantes à son fond, parceque son centre de gravité, qui doit toujours être le plus bas possible, étant placé vers le haut, le ferait infailliblement verser à la moindre secousse de la mer. Dans tous les cas, il faut que la verticale du centre de gravité d'un corps passe par la base, parceque, sans cela, la pesanteur qui est ordinairement une cause de stabilité, serait une cause puissante qui détruirait l'équilibre.

Tous les corps sont également pesants. Tous les corps qui tombent à la surface de la terre sont également pesants, et tombent avec la même vitesse dans le même temps. Cet énoncé semblerait d'abord s'éloigner de la vérité, parceque la neige, la plume, le papier ne tombent pas avec la même rapidité que le plomb, le platine ou les autres substances que l'on appelle pesantes ; mais l'expérience en prouve la réalité. Si les espaces parcourus par différents corps sont égaux dans des temps égaux, il est évident que tous ces corps sont également pesants : Eh ! bien, c'est ce qui a lieu ; mais ce n'est pas dans l'air qu'il faut en faire l'expérience, car nous savons déjà que les corps plongés dans l'air, perdent de leur poids une quantité égale au poids du volume d'air qu'ils déplacent, et cette quantité sera d'autant plus grande pour un corps, que sous le même poids, ce corps déplacera un plus grand volume d'air. Cependant ce n'est pas la seule cause de la différence de vitesse des corps dans leur chûte libre vers la surface de la terre, il en existe une autre beaucoup plus puissante ; c'est la résistance que l'air oppose au mouvement, résistance qui provient de ce que l'air ne peut être déplacé, par un corps en mouvement, sans absorber une partie de la force qui l'anime, et par conséquent, sans en diminuer la vitesse. Cette résistance croît plus rapidement que la vitesse, et varie suivant la forme du corps ; elle est si grande, qu'elle empêche certains corps de tomber, et que les corps de même nature qui, dans leur chûte libre, ont coutume de tomber de la même hauteur dans le même temps, tombent souvent avec des vitesses très-différentes. L'or en feuilles, par exemple, tombe avec beaucoup de lenteur, tandisque l'or en masse tombe

avec une extrême rapidité. C'est donc dans le vide qu'il faut vérifier la loi que nous venons d'énoncer. En effet, si l'on enlève l'air d'un long tube de verre, contenant à une de ses extrémités du plomb et du duvet, en relevant le tube verticalement, on voit ces deux corps tomber avec la même vitesse ; à mesure que l'on fait entrer l'air dans le tube on voit le duvet tomber avec autant plus de lenteur comparativement au plomb que ce tube contient plus d'air. Il est une expérience plus facile qui conduit au même résultat, et que l'on peut même faire dans l'air. On prend une petite caisse ouverte par le haut, fermée par le bas et lestée de manière que, dans sa chûte, elle conserve la même position ; si ensuite on introduit dans cette caisse des corps légers, comme du papier, du duvet, et qu'on la laisse tomber d'une certaine hauteur, ces corps ne laisseront point le fond de la caisse, et par conséquent, tomberont avec la même vitesse ; parceque la résistance de l'air n'a lieu que sur le fond de la caisse et non contre les corps qu'elle renferme.

Poids. Le poids d'un corps est la résultante de l'action de la pesanteur sur ce corps ; il est donc évident que le poids de ce corps sera d'autant plus grand que son volume sera plus considérable, et que, sous ce même volume, il contiendra une plus grande quantité de matière, c'est-à-dire, que ce corps aura une plus grande *densité*. On ne peut mesurer le poids d'un corps que par comparaison avec le poids d'un autre corps que l'on prend pour unité de poids.

Il existe plusieurs instruments destinés à mesurer le poids des corps ; on leur donne le nom de *balances*. Celles dont l'usage est le plus étendu, et qui sont susceptibles d'une grande précision, sont composées d'une barre métallique que l'on nomme fléau et qui tourne sur un pivot placé à son milieu ; aux deux extrémités du fléau sont suspendues deux coupes destinées à recevoir les corps dont la balance doit constater l'égalité de poids. Pour que la balance puisse remplir l'objet auquel elle est destinée, elle doit satisfaire à certaines conditions que nous allons faire connaître.

Pour que le corps, que l'on met dans une des coupes de la balance, et que l'on veut peser, soit en équilibre avec le poids que l'on place dans l'autre coupe, il faut 1o. que, sans les poids, le fléau soit horizontal et en équilibre stable dans cette position ; 2o. que les points, où sont suspendues les deux coupes, soient à égale distance du point sur lequel roule le fléau, c'est-à-dire que les deux bras du fléau soient de la même longueur.

Pour que la balance soit en équilibre, le fléau étant horizontal, il faut que la verticale du centre de gravité passe par le point de suspension ; et pour qu'elle soit en équilibre stable, c'est-à-dire, pour que le fléau reprenne sa position horizontale après qu'il en a été dérangé, il faut que le centre de gravité soit au-dessous du point de suspension.

Outre les conditions que nous venons d'énoncer et qui sont indispensables à une balance, il en est encore d'autres qui servent à la rendre très sensible et à lui faire conserver sa sensibilité. Ces conditions sont : 1o. que le centre de gravité soit très rapproché du point de suspension ; 2o. que les points de suspension des deux coupes et le point de rotation soient sur une même ligne droite ; 3o. que le fléau soit inflexible ;

4o. que les couteaux de suspension soient durs et polis; 5o. que le fléau soit très long, ainsi que l'aiguille qui sert à indiquer sa position.

Pour connaître si les deux bras du fléau sont de même longueur, et parconséquent, pour savoir si le corps que l'on pèse est en équilibre avec les poids, on établit d'abord l'équilibre entre ce corps et les poids, puis on les change de coupe ; si la balance est juste, le fléau demeurera horizontal dans les deux cas.

LOIS DE LA CHUTE DES CORPS A LA SURFACE DE LA TERRE.

Les vitesses des corps sont proportionnelles aux temps qu'ils mettent à tomber ; car la pesanteur agissant à chaque instant sur les corps, on peut considérer ses effets comme des petites forces qui s'ajoutent successivement par l'action de la pesanteur ; et comme ces forces sont égales entre elles, la force qui sollicite les corps à chaque instant croît proportionnellement au temps, et parconséquent, la vitesse croît aussi dans le même rapport.

Galilée fut le premier qui fit des expériences pour trouver les lois de la chûte des corps, en fesant rouler un corps sur un plan incliné, afin de diminuer l'intensité de la pesanteur ; en partant du principe que les vitesses des corps sont proportionnelles aux temps qu'ils mettent à tomber, il trouva que les espaces parcourus sont comme les carrés des temps employés à les parcourir. On entend, par carré d'un nombre, le produit de ce nombre une fois par lui-même : ainsi 1 est le carré de 1, puisque 1 multiplié par 1 donne 1 ; 4 est le carré de 2, puisque 2 par 2 donnent 4 ; 3 par 3 donnent 9 ; 4 par 4 donnent 16 ; &c.

Maintenant si l'on suppose égal à 1 l'espace parcouru dans le premier instant, dans les deux premiers instants l'espace parcuru sera égal à 4, puisque 4 est le carré de 2 ; dans les trois premiers instants l'espace parcouru sera 9, puisque 9 est le carré de 3 ; dans les quatre premiers instants l'espace parcouru sera 16, puisque 16 est le carré de 4 ; l'espace parcouru dans les cinq premiers instants sera 25, puisque 25 est le carré de 5 ; ainsi de suite indéfiniment. Il suit donc dela que les espaces parcourus par les corps sont entre eux comme la suite des nombres, 1, 3, 5, 7, 9, &c. En effet, puisque l'espace parcouru dans le premier instant est égal à 1, et que l'espace parcouru dans le second instant joint au premier est égale à 4, l'espace parcouru dans le second instant seul sera égale à 3 ; puisque l'espace parcouru dans les deux premiers instans est égal à 4, et que l'espace parcouru dans le troisième instant joint aux deux premiers est égal à 9, l'espace parcouru dans le troisième instant seul sera 5, différence entre 9 et 4 ; puisque l'espace parcouru dans les trois premiers instant est égal à 9, et que l'espace parcouru dans la quatrième instant joint aux trois premiers est 16, l'espace parcouru dans le quatrième instant seul est égal à 7, puisque 9 et 7 font 16 ; ainsi de suite. Maintenant, connaissant l'espace qu'a parcouru dans un premier instant un corps qui tombe librement, on en déduira facilement les espaces qu'il parcourra dans les instants suivants, considérés soit séparément, soit unis ensemble. On sait, par exemple, que, dans la première seconde de sa chûte, un corps pesant, qui tombe librement à la surface de la terre, parcourt un espace

d'environ 16 pieds anglais ; dans les deux premières secondes, il aura parcouru un espace de 64 pieds, puisque 4, carré du 2ème. instant, multiplié par 16, donne 64 ; mais dans la deuxième seconde seule il aura parcouru un espace de 48 pieds, puisque 3, différence entre le carré de 1 et le carré de 2 qui est 4, multiplié par 16, donne 48.

Il suit aussi de la nature de la force accélératrice de la pesanteur que, si un corps, après être tombé librement pendant un certain temps, était tout à coup soustrait à l'action de la pesanteur, il se mouvrait avec une vitesse uniforme, et parcourrait, dans un temps égal à celui qu'il avait employé depuis l'origine du mouvement jusqu'au moment où il a été soustrait à l'action de la pesanteur, un espace double du premier

Lorsqu'un corps est soumis à une force quelconque autre que l'action de la pesanteur, si cette force est dirigée dans le sens de la pesanteur, c'est-à-dire, de haut en bas, comme serait une pierre lancée verticalement du haut d'une tour à son pied, les effets de ces deux forces s'ajoutent ; la vitesse que vous aurez imprimée au corps par l'impulsion initiale sera constamment la même. Il faudra y ajouter de plus la vitesse résultante de l'action de la pesanteur. L'espace parcouru alors sera égal à la somme des espaces qu'il eût parcourus successivement s'il eût été tour à tour soumis à l'action de chacune de ces deux forces. Supposons, par exemple, qu'un corps, soustrait à l'action de la pesanteur, et mis en mouvement par une impulsion quelconque, eût parcouru, dans un temps donné, un espace de 120 pieds, et qu'ensuite, le même corps étant soumis à la seule action de la pesanteur, parcourt aussi un espace de 120 pieds, lorsqu'il sera soumis à l'action de ces deux forces réunies il parcourra, dans ce temps donné un espace de 240 pieds, somme des deux espaces. Mais si on a imprimé à un corps une impulsion en sens contraire de la pesanteur, c'est-à-dire, de bas en haut, les actions successives de cette dernière force finiront par anéantir la première, et le corps tombera alors comme s'il fût parti du repos. Dans ce cas les vitesses du corps en montant et en descendant sont les mêmes à des hauteurs égales, et il arrive à la surface de la terre avec la même vitesse qu'il en était parti.

Lorsque la direction que l'on donne à un corps est inclinée à l'horizon, il s'élève en fesant une courbe, que lui fait décrire l'action de la pesanteur, et redescend ensuite en décrivant une courbe semblable : cette courbe est une parabole. C'est sur ce principe qu'est appuyé le jet des bombes.

CORPS SOLIDES.

Nous avons déjà dit qu'on entend par corps solides ceux qui ont une forme déterminée, qu'on ne peut leur faire abandonner, sans employer une force étrangère assez considérable ; cependant il est des circonstances où les limites entre la solidité et liquidité des corps ne sont pas faciles à marquer. Dans les corps l'attraction réciproque des molécules est en équilibre avec la force élastique de la chaleur, de sorte qu'elles ne se touchent pas ; mais elles sont assez rapprochées les unes des autres pour que leur attraction soit modifiée par leur forme et leur nature, et leur équilibre dépend de leurs positions les unes par rapport aux autres ; ce qui ne leur permet point d'abandonner leurs positions.

Porosité. On appelle *pores* les intervalles qui existent entre les parties d'un corps. Puisque les molécules des corps ne se touchent jamais, il s'ensuit que tous les corps solides sont poreux ; mais outre cette porosité que l'on nomme *porosité moléculaire*, les différentes parties d'un grand nombre de corps sont séparées par des intervalles souvent très-considérables. C'est de cette dernière porosité que nous allons parler, la première étant imperceptible. Les pores des corps solides peuvent être pénétrés par les gaz, les liquides, et quelquefois par les corps solides eux-mêmes. Presque toutes les substances végétales et animales et un grand nombre de minéraux offrent des pores qui peuvent être pénétrés par les liquides et par les gaz. On sait qu'il y a dans la peau de l'homme et des animaux une infinité de pores qui donnent passage à la transpiration ordinaire et à la sueur. L'air et l'eau pénètrent assez facilement les bois, les charbons et la plupart des pierres. Les cordes en absorbant de l'eau augmentent en grosseur, mais elles diminuent en longueur ; la raison de ce raccourcissement, c'est que les fils qui les composent sont tournés en spirales, et que, lorsqu'on les mouille, les branches de la spirale grossissant, elles tendent à se rapprocher et à prendre une position perpendiculaire à l'axe de la corde. En mouillant des cordes après les avoir fortement bandées, on est parvenu à soulever de grandes masses. C'est à la dilatation que les bois éprouvent par l'absorbtion de l'humidité de l'air que sont dus les mouvements qui difforment les menuiseries ; et c'est à la même cause qu'il faut attribuer le moyen si connu de courber les pièces de bois en les mouillant d'un côté et en les présentant en même temps au feu de l'autre. Le côté mouillé se dilate et celui qui est chauffé se contracte ; ainsi ces deux causes tendent ensemble à produire la courbure. On fait, de cette propriété des bois d'augmenter de volume par l'humidité, une application fort ingénieuse pour graver en relief sur les bois. On grave en creux avec un poinson en comprimant le bois, puis on varloupe jusqu'à ce que les parties qui ont été comprimées, soient affleurées, ensuite on met la pièce de bois dans l'eau ; alors les parties, qui avaient été comprimées, reprennent leur volume primitif et se trouvent en relief. On obtient encore, au moyen de cette puissance de dilatation par l'absorbtion de l'humidité, des effets prodigieux qu'il serait trop long de rapporter ici.

Densité. On dit qu'un corps est plus *dense* qu'un autre, lorsque, ayant un même volume, il est plus pesant, plus massif ; et on appelle *densité* ou *pesanteur spécifique* le rapport de la quantité de matière contenue dans un corps à la quantité de matière contenue dans un autre corps à volume égal, ou bien le nombre qui exprime combien de fois une substance pèse plus on moins qu'une autre, ayant un volume égal. Pour pouvoir comparer les pesanteurs spécifiques des corps on se sert de l'eau, parcequ'elle est très rependue dans la nature; de l'eau destillée, parce que sa densité varie suivant les diverses substances qu'elle contient en dissolution ; de l'eau à la température de 4 degrés, parceque c'est seulement à ce point qu'elle atteint sa plus grande pesanteur. Pour déterminer la pesanteur spécifique d'un corps, il faut donc connaître le poids de ce corps et celui d'un égal volume d'eau ; alors on divise le nombre qui exprime le poids de ce premier

corps par le nombre qui exprime celui de l'eau, et le quotient que l'on obtient par cette division est la densité cherchée. On obtient le poids d'un volume d'eau égal à celui du corps dont on veut connaître la pesanteur spécifique, au moyen de ce principe que nous avons déjà énoncé, et qui est qu'un corps plongé dans un fluide quelconque perd de son poids une quantité égale au poids du volume du fluide que ce corps déplace. Ainsi le poids du volume d'eau sera la différence du corps pesé dans l'air et ensuite pesé dans l'eau ; en divisant donc par cette différence le poids du corps pesé dans l'air on aura le rapport de leurs densités respectives.

C'est Archimède qui, le premier, découvrit cette loi de la différence de pesanteur des corps lorsqu'ils sont plongés dans un fluide quelconque, et c'est cette loi importante qui lui fit connaître que la fameuse couronne d'Hiéron de Syracuse n'était pas toute d'or.

Voici un tableau des pesanteurs spécifiques de certains corps, celle de l'eau étant prise pour unité.

Platine passé au laminois,	22,6690	Plomb fondu,	11,3523
" " à la filière,	21,0417	Argent fondu,	10,4743
" forgé,	20,3376	Cuivre en fil,	8,8785
" purifié,	19,5000	Cuivre rouge fondu,	8,7880
Or forgé,	19,3617	Acier non écroui,	7,8163
Or fondu,	19,2581	Ferre en barre,	7,7880
Tongstène,	17,6000	Etain fondu,	7,2914
Mercure à 0 °	13,5980	Fer fondu,	7,2030

Nous voyons par ce tableau que le platine est le corps le plus lourd de la nature, et que l'or vient ensuite.

Compressibilité et extensibilité des corps solides. Les molécules des corps solides, comme nous l'avons déjà vu, ne se touchent jamais, elles se rapprochent plus ou moins les unes des autres suivant que la chaleur diminue ou augmente ; et ces deux forces, agissant, l'une pour comprimer, l'autre pour dilater, il en résulte que l'on peut obtenir les mêmes effets par d'autres forces, en un mot, que les corps diminuent de volume lorsqu'on les comprime, et qu'ils augmentent de volume lorsque les forces agissent en sens contraire. On reconnait facilement cette propriété sur les corps poreux flexibles, tels que les éponges, les bois, &c. Mais sur les métaux fondus elle est difficile à constater; parceque ces corps sont peu compressibles; qu'il f t le plus souvent de grandes forces pour les comprimer, et des instruments très délicats pour mesurer cette compression.

Elasticité. On appelle *élasticité* la propriété que certains corps possèdent de conserver leur forme et de la reprendre lorsqu'elle a été altérée par une force étrangère. Un corps de cette nature revient ordinairement à sa position primitive, en fesant des oscillations nombreuses autour de cette même position. On peut faire cette expérience sur une tige de bois ou d'acier fixée d'une manière solide à l'une de ses extrémités, et courbée, pnis abandonnée à elle-même. Elle oscillera pendant quelques instants ; mais ces oscillations finiront par s'anéantir, et cette verge reprendra sa première position. C'est en vertu

de l'élasticité qu'une bille d'ivoire, tombant sur un plan de marbre, remonte presqu'à la hauteur du point de départ. Pour connaître que, dans ce cas, la bille a été applatie, et qu'elle a repris sa forme primitive en vertu de son élasticité, on recouvre le marbre d'une légère couche d'huile, après le choc, on trouve que l'huile a été enlevée sur une étendue circulaire assez considérable, et d'autant plus considérable que la bille est tombée avec plus de force.

Il n'y a aucun corps dans la nature qui soit parfaitement élastique, puisque nul, après être tombé librement, ne revient aussi haut que le point de départ ; il n'y a pas de corps non plus qui soit entièrement dépourvu d'élasticité. Ainsi le plomb, le beurre, la graisse offrent un degré plus ou moins sensible d'élasticité. Le cahou-chou, présente une très-grande élasticité. L'élasticité, que l'on parvient à donner à certains corps par un changement brusque de température, est d'une grande utilité dans les arts : ainsi l'acier, chauffé à une température plus ou moins élevée, et refroidi brusquement dans l'eau froide ou dans un liquide quelconque froid, devient dur, élastique et cassant, d'autant plus que le refroidissement a été plus rapide. Cette opération porte le nom de *trempe*. On donne à l'acier par la trempe un degré plus ou moins grand de dureté, suivant l'usage que l'on veut en faire. C'est sur le principe de l'élasticité et de la trempe de l'acier que sont fondés les ressorts de montres, de portes, de voitures, et une infinité de machines.

Ductilité. On désigne sous le nom de *ductilité* la propriété plus ou moins grande dont jouissent certains corps soit de s'allonger, soit de s'étendre sans se rompre, lorsqu'ils sont soumis à des forces quelconques, telles que la pression, la percussion, &c. La ductilité est l'opposé de l'élasticité.

On entend par *malléabilité* la facilité des corps à s'étendre soit sous le marteau, soit au laminoir. La malléabilité dépend surtout de la dureté, de la densité et de la ductilité des métaux ; et l'on désigne sous le nom de *tenacité* la résistance que les corps opposent à se rompre ou à se déchirer quand on les tiraille. La tenacité paraît dépendre principalement de la cohésion ou attraction moléculaire. On entend par *dureté* la résistance des corps à être entamés, rayés ou brisés par d'autres corps. La tenacité et la dureté sont deux choses bien différentes et ne vont pas toujours ensemble ; puisque le verre, le cristal de roche et plusieurs pierres précieuses, qui sont très-dures, se brisent sous une assez légère percussion. Il y a des corps qui cèdent à la plus faible pression, tels que l'argile, le beurre, la cire ; il y en a d'autres qui ne peuvent changer de forme que lorsqu'ils y sont sollicités par des forces très-puissantes : tels sont la plupart des métaux. Mais les corps ductiles, soumis à l'action du marteau, du laminoir, de la filière, ne se présentent pas dans le même ordre sous ces différentes circonstances. La facilité avec laquelle ils passent au laminoir dépend principalement de la densité et de la ductilité ; celle avec laquelle il passent à la filière dépend de la ductilité et de la tenacité, sous le rapport de la facilité des métaux à être travaillés au marteau on peut les placer dans l'ordre suivant :—plomb, étain, or, zinc, argent, cuivre, platine, fer ; sous le rapport de leur facilité à être passés à la filière on les place dans

l'ordre qui suit :—platine, argent, fer, cuivre, or, zinc, étain, plomb ; enfin sous le rapport de facilité du passage au laminoiron les range ainsi :—or, argent, cuivre, étain, plomb, zinc, platine, fer. En général les corps deviennent plus ductiles à mesure que leur température est plus élevée ; parce que les molécules, s'éloignant d'avantage les unes des autres, peuvent se mouvoir plus facilement les unes autour des autres.

Frottement. On entend par *frottement* la résistance que tout corps éprouve à se mouvoir sur la surface d'un autre corps. Dans certains corps le frottement paraît dû aux aspérités de leurs surfaces, qui pénètrent les unes dans les autres, et qui les obligent à se déchirer. Cependant, comme le frottement se manifeste aussi dans les corps polis où on peut difficilement supposer de semblables aspérités, il paraît très-probable que le frottement est dû en grande partie à l'adhérence des surfaces que l'on met en contact.

Les principales lois du frottement sont celles-ci :—1o. En général le frottement n'atteind pas sa plus grande énergie à l'instant du mouvement d'un des corps en contact, mais seulement quelque temps après ; 2o. la vitesse d'un des corps ne tend pas toujours à diminuer on à augmenter le frottement, mais pour des corps de nature différente le frottement croît dans une certaine proportion à mesure que la vitesse augmente : 3o. la résistance que les corps éprouvent, après qu'ils sont demeurés quelquetemps en repos, est plus grande que celle qu'ils éprouvent lorsqu'ils ont été une fois mis en mouvement ; 4o. plus les surfaces en contact sont polis, moins il y a de frottement. Dans tous les cas, le frottement est en proportion de la pression, par conséquent, du poids du corps frottant et non de l'étendue des surfaces en contact : ainsi ils ont tort ceux qui relèvent les deux extrémités des lices de leurs voitures d'hiver, afin, disent-ils, de ne les faire porter que sur le milieu, et par là de diminuer le frottement ; 5o. le frottement est plus grand entre des corps de même nature qu'entre des corps de nature différente ; 6o. le frottement est beaucoup plus petit pour nn corps qui roule que pour un corps qui glisse. Le frottement d'un corps qui glisse s'appelle frottement de première espèce ; l'autre s'appelle frottement de seconde espèce. On peut toujours diminuer le frottement, en introduisant entre les corps certaines substances, tels que de l'huile, des graisses, du savon, de la plombagine, du talc. L'effet que produisent ces matières est probablement dû à ce qu'elles donnent un poli plus parfait aux surfaces en contact, en replissant leurs inégalités, et à ce que aussi, comme il est probable, les malécules de ces substances plus ou moins fluides roulent entre les deux surfaces, et changent ainsi le frottement de première espèce en frottement de seconde espèce. Le moyen de diminuer le frottement est d'une grande utilité dans les arts, car sans ce moyen, dans la plupart des machines, le frottement détruirait la plus grande partie de la force qui les met en mouvement.

Choc des corps ductiles. Lorsque les centres de gravité de deux corps ductiles ou non élastiques se mouvent sur une même ligne droite, après le choc, les corps restent en contact et continuent ensemble de se mouvoir avec une quantité de mouvement égale à la somme ou

à la différence des quantités de mouvement qui animaient séparément les deux corps avant le choc ; égale à la somme si les deux corps se meuvent dans le même sens, égale à la différence s'ils se meuvent en sens contraire. Nous allons prendre pour exemple des corps de même masse afin d'être plus clair. Si deux corps ayant même masse, vont dans le même sens, l'un avec une quantité de mouvement égale à 4 et l'autre avec une quantité égale à 2, après le choc, ayant ensemble une quantité de mouvement égale à 6, ils iront avec une vitesse égale à 4 plus 2, somme des quantités de mouvements, divisés par 2, somme des masses, égale à 3. Ainsi après le choc, ils iront avec une vitesse de 3. Si ces deux corps vont en sens contraire, leurs masses respectives ainsi que leurs quantités respectives de mouvement, étant toujours les mêmes, après le choc, ils n'iront plus ensemble qu'avec une quantité de mouvement égale à 2, et, par conséquent, avec une vitesse de 1 ; puisque 2, différence des quantités de mouvement, divisés par 2, somme des masses, donnent 1. De sorte donc que si deux corps avaient des masses et des vitesses égales et qu'ils iraient en sens contraire, après le choc, ils demeureraient en repos.

On entend par *quantité de mouvement* la force qu'on a employée pour faire mouvoir un corps : on n'ignore pas que plus un corps est pesant, plus la force nécessaire pour le mettre en mouvement doit être considérable. Par exemple, si un corps à une masse double d'un autre, pour les faire mouvoir avec la même vitesse, il faudra employer une force double, et par conséquent, ce corps aura une quantité de mouvement double de l'autre ; de sorte qu'en multipliant la masse d'un corps par sa vitesse on aura sa quantité de mouvement, et réciproquement en divisant sa quantité de mouvement par sa masse, on aura sa vitesse ; de sorte aussi, qu'en divisant la somme des quantités de mouvement de deux corps qui se choquent, par la somme des masses de ces deux corps, on aura la vitesse qu'ils auront ensemble après le choc.

Choc des corps élastiques. Lorsque les centres de gravité de deux corps élastiques se meuvent sur une même ligne droite, après le choc, la vitesse de chacun des corps est égale à la vitesse qu'il aurait eue, si les deux corps avaient été ductiles, cette dernière vitesse diminuée d'une vitesse égale à celle qu'il aurait perdue, ou augmentée d'une vitesse égale à celle qu'il aurait gagnée. Expliquons-nous par un exemple. Supposons deux corps dont l'un ait une masse de 6 et une vitesse de 4, et dont l'autre ait une masse de 2 et une vitesse de 8 ; on sait que l'on trouve la quantité de mouvement d'un corps en multipliant sa masse par sa vitesse, la quantité de mouvement du premier corps sera donc 6 par 4 égalent 24, et la quantité de mouvement du second sera 2 par 8 égalent 16. Si les deux corps vont dans le même sens, ils auront ensemble une quantité de mouvement égale à 40 ; ils iront avec la même vitesse et cette vitesse sera 5, puisqu'on obtient la vitesse commune de deux corps, qui se meuvent ensemble après le choc, en divisant la somme des quantités de mouvement par la somme des masses, puisque la quantité de mouvement des deux corps est égale à 40 et la somme des masses égale à 8 et que 40 divisés par 8 égalent 5. Maintenant, la vitesse du second corps avant le choc était égale à 8, après

le choc, il aura diminué sa vitesse d'une quantité égale à 3, et comme, à cause de son élasticité, en choquant l'autre corps, il a été applati, et que, pour reprendre sa forme primitive, il a pressé de nouveau l'autre corps, il perdra encore une vitesse de 3, et ne se mouvra plus dans le même sens qu'avec une vitesse de 2. Le premier corps, avant le choc, allait avec une vitesse de 4, après le choc, comme nous l'avons vu, il allait avec une vitesse de 5, il avait donc gagné 1 de vitesse ; et comme il a été comprimé dans le sens du mouvement, l'élasticité le fera mouvoir dans le même sens avec une vitesse de 1, et il ira avec une vitesse égale à 6. Ainsi le premier corps a gagné une vitesse double de celle qu'il eût gagnée s'il eût été ductile, et le second corps a perdu une vitesse double de celle qu'il eût perdue s'il eût été ductile.

Durée de la communication du mouvement. Le mouvement que communique un corps à un autre corps par le choc met toujours quelque temps à se communiquer, et c'est ce temps plus ou moins long employé à la communication du mouvement qui nous donne l'explication de plusieurs faits assez curieux. Lorsqu'un corps lancé rencontre un autre corps d'une grande étendue mais de peu d'épaisseur, et que sa vitesse est peu grande, la pression qu'il exercera sur les parties du corps les plus voisines de son passage se communiquera aux autres parties de ce même corps sur une étendue d'autant plus grande que le projectile ira avec une moindre vitesse, et, par la même raison, le corps pénétré se brisera sur une plus grande étendue ; mais si la vitesse du projectile est très-grande, traversant le corps avec beaucoup de rapidité, il n'aura le temps de communiquer l'ébranlement qu'aux parties qui sont sur son passage, et, par conséquent, il ne brisera que ces parties. C'est ainsi, par exemple, qu'un boulet de canon, à demi-portée, traverse un navire en ne fesant qu'une petite ouverture, au lieu qu'à une distance plus grande, sa vitesse étant diminuée, il déchire les flancs du vaisseau sur une surface plus ou moins grande suivant sa distance. Une balle tirée dans une vitre à une petite distance ne fait qu'une ouverture circulaire en la traversant, et tirée à une distance un peu considérable elle la brisera en totalité. Par la même raison, souvent un fantassin ne s'est pas aperçu que le bout de son fusil a été emporté par un boulet.

EMPLOI DES CORPS SOLIDES POUR TRANSMETTRE ET MODIFIER LES FORCES.

Les forces de la nature et celles que produisent les hommes et les animaux peuvent immédiatement être employées à produire l'effet qu'on désire; mais il faut presque toujours les modifier. C'est quelquefois la nature de la force qui doit être changée, et, presque dans tous les cas, il faut augmenter la vitesse ou la masse mise en mouvement. Les appareils employés pour modifier les forces portent le nom de machines. Les machines employées dans les arts sont extrêmement nombreuses ; mais ces machines sont toutes des combinaisons d'un très-petit nombre de machines simples ou élémentaires qui sont *le levier, la poulie, le treuil, le plan incliné et la vis.* Encore, comme nous le verrons bien-

tôt, toutes ces machines se réduisent à la rigueur au levier et au plan incliné qui sont les seules machines véritablement simples et élémentaires.

Il faut établir pour principe incontestable que dans toutes les machines on perd en force ce que l'on gagne en vitesse, et réciproquement que l'on gagne en force ce que l'on perd en vitesse, puisque, pour trouver l'équilibre des machines, il faut multiplier la masse par la vitesse, et que, si la vitesse est plus grande, la ma[illegible] nécessairement plus petite; qu'au contraire si la masse est plus grande, la vitesse devra être nécessairement plus petite.

Du levier. - Le *levier*, la plus simple de toutes les machines, est une barre inflexible droite ou courbe de métal ou de bois qui se meut autour d'un point fixe, et qui est sollicitée par deux forces qu'on désigne sous les noms *de puissance* et *de résistance*. Il y a trois espèces de leviers. Le levier du premier genre est celui dans lequel le point d'appui *o* (fig : 2.) est placé entre la puissance P et la résistance R ; la balance ordinaire, les ciseaux des couturières, les tenailles, &c. sont des leviers du premier genre. Le levier du second genre est celui dans lequel le point d'appui *o* (fig : 3.) est à l'une des extrémités, la puissance à l'autre extrémité, et la résistance entre l'une et l'autre ; les casse-noisettes, les rames qui ont leur point d'appui dans l'eau, la résistance sur la chaloupe et la puissance à l'endroit où s'appliquent les mains du rameur, sont des leviers du second genre. Le levier du troisième genre est celui dans lequel la puissance P (fig : 4.) est située entre le point d'appui et la résistance ; les pinces à sucre, à feu, le bras de l'homme, une échelle appuyée à une de ses extrémités et soulevée par son milieu, &c., sont des leviers du troisième genre.

Dans le levier du premier genre la puissance, pour maintenir l'équilibre, peut-être plus grande, égale ou plus petite que la résistance, suivant que le bras du levier, du côté duquel se trouve la puissance, est plus petit, égal ou plus long que celui du côté duquel se trouve la résistance. Dans le levier du second genre, la puissance nécessaire pour obtenir l'équilibre est toujours plus petite que la résistance, parce que, le bras de la puissance, se mesurant du point d'appui qui est à l'autre extrémité du levier, est plus long que celui de la résistance. Dans le levier du troisième genre la puissance est toujours plus grande que la résistance ; puisque le bras de la résistance est plus long que celui de la puissance.

Dans un levier quelconque la puissance est à la résistance comme la distance de la résistance au point d'appui est à la distance de la puissance au point d'appui. De cette manière on aura équilibre, puisqu'on aura la plus grande force multipliée par le plus petit bras du levier égale à la plus petite force multipliée par le plus long bras du même levier.

Nous avons vu que la quantité de mouvement qui anime un corps est égale à la masse de ce corps multipliée par sa vitesse, et nous avons vu aussi que la quantité de mouvement est égale à la force ou est la même chose que la force que l'on emploie pour faire mouvoir un corps ; cette force, que l'on nomme *puissance* dans le levier, sera donc égale au produit de la masse du corps employé à produire le mou-

vement par la vitesse de ce corps. Supposons maintenant que le levier AB (fig : 5.) tourne sur son axe au point d'appui E, de manière à arriver à la position DC ; comme l'extrémité DC est à la plus grande distance du point d'appui E, et qu'il a parcouru l'arc AD dans le même temps que l'extrémité B a mis à décrire l'arc BC, il est évident que la vitesse de A doit avoir été plus grande que celle de B, et que, par conséquent, il exige un poids moins considérable que B pour produire l'équilibre. Par exemple si AE a 20 pouces de longueur, EB 8 pouces, et que la résistance R soit de 5 livres, la puissance P devra être plus petite, elle sera de 2 livres, puisque 2, la puissance, multipliés par 20, longueur du plus grand bras, sont égaux à 5, la résistance, multipliés par 8, longueur du plus court bras.

Il est évident, d'après ce que nous venons de voir, que le levier du premier genre est le plus avantageux pour obtenir de grandes forces ; puisque, quelle que soit la résistance et quelle que petite que soit la puissance on peut toujours mettre cette dernière force en équilibre avec la résistance, en augmentant la longueur du bras du levier du côté de la puissance ; et que le levier du troisième genre est le plus désavantageux, puisqu'il faut toujours que la puissance soit plus grande que la résistance

De la poulie. La *poulie* est une petite roue en bois ou en métal (fig : 6.) dont la circonférence est creusée en gorge, et qui tourne sur un axe *c* que l'on appelle goujon, dont les deux extrémités tournent dans une autre pièce de bois ou de métal M que l'on appelle chappe. La poulie est appelée *fixe* lorsqu'elle ne tourne que sur son axe, et que la chappe est fixe, (fig : 6.) Dans la poulie fixe la puissance et la résistance sont aux deux extrémités de la corde qui s'enroule dans la gorge, et par conséquent, c'est un levier du premier genre qui a son axe pour point d'appui, et pour bras les rayons de la poulie, ou les distances de l'axe aux points où la corde cesse de toucher la poulie. Pour qu'il y ait équilibre dans cette poulie, il faut que la puissance soit égale à la résistance ; car les deux bras du levier ont toujours une même longueur. Cette poulie ne sert pas à augmenter les forces, mais seulement à transformer le mode de la puissance en un autre plus commode ; ainsi un homme qui veut élever un corps, au lieu de se servir de la force de ses bras, se sert de sa pesanteur au moyen de la poulie fixe. On désigne sous le nom *de poulie mobile* celle qui non seulement tourne sur son axe, mais encore monte avec le poids qui s'élève. Dans la poulie mobile, (fig : 7.) la puissance, pour faire équilibre, est seulement la moitié de la résistance, car le bras de la puissance est double de celui de la résistance. En effet, dans la poulie mobile, le point d'appui a son application en P*c*, la résistance a le sien au centre de la poulie R et la puissance en P ; de sorte que la distance du point d'appui à la résistance se mesurant par le rayon R*c*, et la distance du même point d'appui à la puissance P se mesurant par le diamètre P*c* de la poulie, il en résulte que la distance du point d'appui à la puissance est double de la distance du même point à la résistance, et que, par conséquent, il suffit, pour obtenir l'équilibre dans cette machine, que la puissance soit de moitié moindre que la résistance.

Du treuil. On désigne sous le nom *de treuil* ou *tour* une machine (fig : 8.) composée d'un rouleau ou cylindre CD, sur lequel s'enroule une corde, et auquel est fixée une roue MN d'un plus grand diamètre. On peut substituer à la roue des bras de leviers dont les extrémités décrivent une circonférence d'un plus grand diamètre que le cylindre. Le cylindre CD est terminé par deux cylindres plus petits *s* et *t*, nommés tarrillons qui reposent sur des points d'appui fixes. Quand le cylindre est disposé verticalement il prend le nom de *cabestan.* Le treuil est un levier du premier genre qui a son point d'appui sur l'axe du cylindre, sa résistance à la circonférence du cylindre, et sa puissance à l'extrémité du rayon de la roue ou à l'extrémité des bras. Pour qu'il y ait équilibre dans cette machine il faut que la résistance R, multipliée par le rayon du cylindre, soit égale à la puissance P, multipliée par le rayon de la roue ; et il faut de plus que la puissance et la résistance tournent en sens contraire l'une de l'autre. Supposons que la résistance soit de 10 livres, le rayon du cylindre de 2 pouces de long, la puissance de 4 livres et le rayon de la roue de 5 livres, il y aura équilibre, puisqu'on aura 10 multipliés par 2 égalent 4 multipliés par 5. Ainsi une puissance de 4 aura fait équilibre à une résistance de 10. On peut augmenter indéfiniment la puissance de cette machine, en allongeant le rayon de la roue comparativement à celui du cylindre. Le treuil est d'un grand usage dans les vaisseaux, où il est employé comme guindeaux, comme roues de gouvernail, &c. Dans le treuil, lorsque la corde est un peu considérable, il faut ajouter son rayon avec celui du cylindre pour avoir un parfait équilibre.

Du plan incliné. Le plan incliné, (fig : 9.) est une surface plane qui forme un angle plus ou moins grand avec l'horison. Cette machine est d'un usage immense dans la mécanique. Par exemple, si l'on veut descendre des tonneaux à la cave ou les en tirer on les fait glisser sur une planche disposée le long des escaliers ; cette planche forme un plan incliné sur lequel les corps peuvent glisser plus ou moins facilement, suivant qu'il est moins ou plus incliné. Quand la puissance P a sa direction parallèle au plan incliné, pour obtenir l'équilibre d'un corps qui glisse sur ce plan, il faut que la puissance, multipliée par la longueur AB du plan incliné, soit égale à la résistance R multipliée par la hauteur AC du même plan. On voit d'après cela que, plus le plan incliné s'abaissera, moins il faudra que la puissance soit grande pour faire équilibre à la résistance. Voilà pourquoi un cheval qui traine une voiture force beaucoup plus pour monter une côte peu inclinée que pour en monter une qui l'est beaucoup. Mais, quelle que soit l'inclinaison du plan, il faut toujours, dans cette machine, que la puissance soit plus grande que la résistance pour lui faire équilibre.

De la vis. La vis est un cylindre AB (fig : 10.) dont la base est un cercle, et qui est enveloppé d'un filet saillant tournant uniformement en spirale autour de sa surface. Cette saillie peut être considérée comme un plan incliné qui s'élève régulièrement en spirale autour de l'axe du cylindre. La vis est accompagnée d'une autre pièce MN, que l'on appelle *écrou*, et qui est percée d'un trou cylindrique, dans laquelle est aussi taillée une rainure en spirale propre à recevoir les saillies de la vis. L'une des deux pièces est toujours

immobile, et l'autre est rendue mobile au moyen d'une puissance P. Tantôt c'est la vis qui est mobile, tantôt c'est l'écrou ; mais le plus souvent la vis est immobile. La saillie spirale de la vis, qui est tantôt triangulaire et tantôt carrée, porte le nom de *filet*, et on appelle *pas* de la vis l'espace vertical qu'a parcouru l'écrou dans un tour de la vis. Pour la vis dont le filet est triangulaire le pas se mesure du fond d'une rainure au fond de la rainure correspondante ; mais pour la vis dont le filet est carré, la hauteur du pas se compte de la surface horizontale d'un filet à la surface horizontale correspondante du filet qui le suit immédiatement. La tête de la vis est traversée par des bras de bois ou de métal, à l'extrémité desquels on applique la force destinée à les mettre en mouvement. Pour qu'il y ait équilibre dans la vis il faut que la résistance, multipliée par la hauteur du pas, soit égale à la puissance multipliée par l'espace que parcourt la force pour faire monter la vis d'un pas. Supposons, par exemple, que la résistance soit de 44 livres, que le pas de la vis ait un pouce de hauteur, et que la puissance soit de 1 livre, il faudra que l'espace parcouru par l'extrémité du levier dans un tour précis soit de 44 pouces pour qu'il y ait équilibre ; c'est-à-dire. qu'il faudra que le bras du levier qui décrit cette circonférence, et qui en est par conséquent le rayon, ait 7 pouces de long, puisque le diamètre d'un cercle dont la circonférence est de 44 pouces a 14 pouces de long. On peut voir maintenant, d'après ce que nous avons dit en parlant du plan incliné, que plus les branches de la spirale sont rapprochées les unes des autres, plus le filet est incliné à l'horizon, c'est-à-dire, que plus le pas de la vis est court, et plus le levier à l'extrémité duquel est appliquée la puissance est long, plus la vis est puissante. On sait les applications infinies que l'on fait de la vis dans les arts, par exemple, dans les étaux du forgeron, dans les tarrières, &c.

Du coin. Le *coin* est un prisme triangulaire DE (fig: 11.) que l'on introduit, par l'une de ses arrêtes EF, entre les parties d'un corps, pour les séparer et les écarter. L'arrête EF se nomme le tranchant du coin. Les deux faces adjacentes ADFE et BCFE se nomment les côtés, et on appelle tête la face opposée à ABCD. Le coin est un véritable plan incliné. C'est sur la tête qu'on applique la puissance par la percussion soit d'un marteau, soit d'un autre corps. Il est clair que, quand on introduit le coin entre les parties d'un corps, ces parties exercent une pression contre ses côtés, et que le coin exerce à son tour, en sens contraire à chacun de ses côtés, un effort contre ces parties. Dans le coin, pour qu'il y ait équilibre, il faut que la puissance, multipliée par chacun des côtés du coin, soit égale à chacune des forces qui agissent contre les côtés multipliée par l'épaisseur du coin. Le coin sera donc d'autant plus puissant que sa tête sera plus étroite et qu'il sera plus long. Les effets que l'on obtient au moyen de cette machine sont très puissants et n'ont presque pas de limites. L'on peut considérer comme des coins les couteaux, les haches, les poinçons, et en général tous les instruments tranchants et pénétrants.

MACHINES COMPOSEES.

Du mouffle ou palan. Le *mouffle* ou *palan* (fig: 12.) est un assemblage de deux ou d'un plus grand nombre de poulies fixes et d'un nombre égal de poulies mobiles. Dans cette machine il y a équilibre lorsque la résistance est égale au nombre des poulies mobiles multiplié par 2, ce dernier produit multiplié par la puissance. Supposons, par exemple, que le palan soit composé de 5 poulies mobiles et que la puissance soit de 10 livres, on aura 5 multipliés par 2 égalent 10, qui multipliés par 10, la puissance, donneront 100. Ainsi pour un palan composé de 5 poulies mobiles, 10 livres feront équilibre à un poids de 100 livres. On peut donner plusieurs formes au mouffle. Celui de la figure 13 est le palan généralement employé dans la manœuvre des vaisseaux.

Des systèmes de treuils et de roues dentées. Dans les systèmes de treuils et de roues dentées (fig. 14 et 15) il y a équilibre, lorsque la puissance, multipliée par les rayons des roues, est égale à la résistance multipliée par les rayons des petits cylindres. Supposons (fig : 13.) que la puissance P soit d'une livre, que le rayon de chacune des 5 roues ait 10 pouces de long et celui des petits cylindres r, r', r'', r''', r'''', 2 pouces de long, la puissance $1 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$ égalera 100,000, il faudra que la résistance, pour faire équilibre à cette puissance, soit de 3125 livres, puisque $3125 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ égalent 100,000. Ainsi, dans un système de roues dentées composé de 5 roues dont les rayons sont de 10 pouces, et ceux des petits cylindres de 2 pouces, 1 livre fera équilibre à 3125 livres. Ces machines sont d'un usage immense dans les arts. Les mouvements de montres, d'horloges, de steam-boats, les grues qui sont employées sur les quais à décharger et à charger les vaisseaux, &c. ne sont autre chose que des systèmes de treuils et de roues dentées.

Du cric. On appelle *cric* (fig: 16.) une verge de fer dentée M qui s'élève perpendiculairement au rayon d'une roue dont les dents s'engrainent dans les siennes : on met cette machine en mouvement au moyen d'une manivelle. Pour qu'il y ait équilibre dans le cric il faut que la puissance, multipliée par la longueur du bras de la manivelle, soit égale à la masse qu'il faut soulever multipliée par le rayon de la roue dentée. Le cric, comme on le sait, sert à soulever les vaisseaux, les bâtisses, &c.

De la vis sans fin. On appelle *vis sans fin* (fig: 17.) une vis qui tourne autour de son axe, sans avancer ni reculer, et dont le filet s'engraine dans les dents d'une roue qu'elle fait tourner. Pour obtenir l'équilibre dans la vis sans fin, il faut que la puissance, multipliée par la circonférence que cette puissance tend à décrire, puis par le rayon de la roue dentée, soit égale à la résistance multipliée par le pas de la vis, puis par le rayon du petit cylindre. Cette machine est extrêmement puissante.

Maintenant que nous avons fini de décrire les principales machines en usage dans les arts, nous allons enseigner un moyen facile de trouver la force d'une machine, c'est-à-dire, le rapport qui existe entre la

puissance et la résistance. D'abord, nous avons vu en parlant du levier, que dans toutes les machines l'on perd en force ce que l'on gagne en vitesse, et réciproquement, que l'on gagne en force ce que l'on perd en vitesse, d'après le principe que la force est égale à la masse par la vitesse. Si donc un corps a 1 de masse et 100 de vitesse il sera en équilibre avec un corps de 100 de masse et de 1 de vitesse, puisque 1 multiplié par 100 est égal à 100 multipliés par 1. De sorte qu'en mesurant dans un temps donné les espaces qu'ont parcourus la puissance et la résistance, et en divisant les espaces l'un par l'autre, on aura le rapport de la puissance à la résistance, et par conséquent, on connaîtra dans une machine quelconque quel poids peut faire équilibre à une autre. Si non seulement l'on veut connaître quelles sont les conditions de l'équilibre d'une machine, mais encore quel est l'effet que l'on a produit au moyen de cette machine en employant une force quelconque pour la faire mouvoir, on multiplie comme d'abord la puissance par l'espace qu'elle a parcouru dans un temps donné, puis on divise ce produit par l'espace qu'à parcouru la résistance dans le même temps. Par exemple, j'applique une force de 10 livres à l'extrémité du levier d'un étau, le bras du levier a 28 pouces de long, et dans un tour qu'on lui a fait faire, la vis a marché d'un pouce ; 28 étant le rayon du cercle qu'a décrit la puissance, on trouvera cette circonférence en fesant la proportion 7 est à 22, qui est le rapport du diamètre à la circonférence d'un cercle quelconque, comme 56, qui est le diamètre de la circonférence décrite par la puissance, est à cette circonférence cherchée. On multiplie 56 par 22, l'on devise ensuite ce produit qui est 1232 par 7 et l'on trouve que la circonférence cherchée est 176 pouces. Maintenant en multipliant cette circonférence 176 par 10, la puissance, on aura 1760 qui divisés par 1, l'espace qu'a parcouru la résistance, donneront 1760. Ainsi un étau, dont le pas de la vis est de 1 pouce et dont le bras à l'extrémité duquel on a appliqué une puissance de 10 livres, est de 28 pouces, exercera sur un corps placé entre ses mâchoires une pression égale à 1760 livres.

Mais tous ces résultats du calcul que nous venons d'énoncer ne sont jamais parfaits dans la pratique, parce que le frottement, qui est toujours plus considérable à mesure que les machines sont plus compliquées, s'oppose sans cesse à ce que l'on obtienne un résultat exact.

Les forces que l'on emploie généralement pour faire mouvoir les machines sont les courants d'eau, le vent, la vapeur, la force des hommes et des animaux.

CORPS LIQUIDES.

Les *corps liquides* sont, comme nous l'avons déjà dit, des corps dans lesquels les molécules peuvent facilement se mouvoir et prendre toutes les positions possibles les unes par rapport aux autres, et qui prennent la forme des vases qui les contiennent, sans qu'on les y force et par la seule action de leur poids. Dans les liquides la force élastique de la chaleur de même que dans les solides est en équilibre avec l'attraction réciproque des molécules; mais comme dans les derniers corps les molécules sont trop distantes les unes des autres pour que leur forme et leur nature puissent exercer d'influence, elle se meuvent facilement.

Densité. Pour trouver a pesanteur spécifique des liquides on pèse un flacon d'abord vide, puis rempli d'eau distillée et fermé avec un bouchon passé à l'émeri; la différence des poids donne exactement le poids du volume d'eau. On pèse ensuite le flacon rempli du liquide dont on veut connaître la pesanteur spécifique; la différence entre ce dernier poids et celui du flacon vide donne le poids de ce liquide. Dans ces deux opérations l'eau et le liquide en question auront un même volume, puisqu'ils sont contenus exactement dans un même vase; en divisant donc le poids de ce liquide par celui de l'eau, on aura sa pesanteur spécifique. Mais il faut avoir soin après qu'on a pesé l'eau, de bien assécher le flacon, et dans les deux circonstances, d'enfoncer le bouchon à la même profondeur.

Tableau de la Densité d'un certain nombre de Liquides.

Acide sulfurique,	1,8409	Eau distillée,	1,0000
Eau de la mer Morte,	1,2403	Vin de Bordeaux,	0,9939
Acide nitrique, (eau forte)	1,2175	Vin de Bourgogne,	0,9915
Eau de la mer,	1,0263	Huile d'olive,	0,9153
Lait,	1,0300		

Compression des liquides. Les liquides peuvent comme les solides diminuer de volume par la compression; mais comme ils sont très peut compressibles, il faut de bien grandes forces pour pouvoir les comprimer d'une manière sensible, et des instruments bien délicats pour pouvoir mesurer cette faible compression. Cependant on parvient à obtenir un résultat satisfaisant au moyen d'un instrument appelé piézomètre inventé par M. Perkins.

Elasticité. Puisque les liquides sont compressibles ils sont nécessairement élastiques, et c'est cette élasticité des liquides qui leur donne la propriété de propager les sons.

Viscosité. On désigne sous le nom de *viscosité* la résistance, quelle que petite qu'elle soit, que les molécules des liquides éprouvent à se mouvoir les unes autour des autres.

Equilibre des liquides. Les liquides communiquent également dans tous les sens la pression que l'on exerce sur un point quelconque de sa surface. En effet, supposons un cylindre AB, (fig: 18.) dans lequel se meut un piston M et terminé par une sphère C, garnie d'un grand nombre de petits tuyaux perpendiculaires à la surface. Si l'on plonge la sphère dans un liquide quelconque et que l'on élève le piston, le liquide rentrera dans cette sphère; en baissant ensuite le piston, le liquide jaillira dans toutes les directions: ce qui prouve que, bien que la pression n'ait eu lieu que dans un endroit, elle s'est communiquée dans toutes les directions.

Une masse liquide renfermée dans un vase ouvert par le haut, n'est en équilibre que lorsque tous les points de sa surface sont également éloignés du centre de la terre; si cette masse est composée de différents liquides, elle ne sera en équilibre stable que lorsque les liquides les plus denses seront les plus bas, parceque le centre de gravite doit toujours être le plus bas possible. C'est sur ce principe qu'est appuyée la faculté de placer les uns au-dessus des autres des liquides de

différentes densités ; il faut avoir soin de placer dessous les liquides les plus denses.

Pression des liquides. Nous avons vu précédemment que, quand on comprime un point quelconque de la surface d'un liquide, cette pression se transmet dans toutes les directions et à tous les autres points ; maintenant nous allons examiner quelles sont les lois des pressions que les liquides exercent en vertu de leur seule pesanteur, non-seulement sur leurs propres molécules, mais encore sur les parois des vases qui les contiennent.

Considérons une masse liquide enfermée dans un vase quelconque, (fig: 19.) et voyons quelle pression une molécule *m*, par exemple, éprouvera par l'action de sa propre pesanteur et de celle des molécules qui l'environnent. Comme la pesanteur agit suivant la verticale, il est évident que la pression que supporte la molécule *m* sera égale au poids de toutes les molécules réunies qui se trouvent sur cette verticale jusqu'à la surface ; et comme la molécule *m* reste en repos, il faut que les molécules inférieures situées sur la même verticale, exercent une réaction capable de faire équilibre à cette pression. Maintenant, si, de chaque côté de la file de molécules qui pressent la molécule *m*, l'on suppose deux petits canaux verticaux *pq* et *st*, remplis d'une file semblable de molécules, et retournés horizontalement de manière à rencontrer latéralement la molécule *m*, il est évident que ces files de molécules presseront les côtés de la molécule *m* avec une force égale à leur poids ; mais ces files de molécules ont même hauteur que la file de molécules *om*, par conséquent, elles exerceront sur *m* une même pression. Il en sera de même pour tout autre point de la molécule *m* ; ainsi, dans tous les sens une molécule liquide quelconque subit une pression égale au poids de la file verticale de molécules situées au-dessus d'elle jusqu'à la surface du liquide. Pour les molécules situées contre les parois du vase, ce sont les parois qui, par leur réaction, font équilibre à la pression exercée sur ces molecules par les molécules voisines ; de sorte que si, tout-à-coup, la pression cessait dans quelqu'un des points, ces molécules sollicitées à l'opposé par une force egale à celle qui vient de disparaître, et ne rencontrant point d'obstacle de l'autre côté pour leur faire équilibre, elles s'échapperaient avec une force égale à cette pression. C'est aussi ce qui arrive si l'on pratique dans la paroi d'un vase (fig: 19.) un orifice quelconque, le liquide s'échappe avec d'autant plus de force que l'orifice est a une plus grande distance de la surface. Pour la molécule *m'*, elle subira dans tous les sens une pression égale à celle de la molécule *m*, puisqu'elle est située dans la même tranche horizontale. Il est vrai que pour demeurer en équilibre stable elle n'est pas pressée verticalement par une file de molécules égale à celle qui presse la molécule *m* ; mais la paroi du vase compense, par sa résistance, la différence de hauteur verticale de ce point de la paroi à la surface du liquide, et, par conséquent, la différence de pression. Cela est si vrai que, si en P l'on perce un orifice, le liquide s'élence par cet orifice jusqu'au niveau de la surface.

Puisque qu'une molécule quelconque d'une masse liquide, comme nous venons de le voir, éprouve dans tous les sens une pression égale au poids d'une colonne verticale de molécules qui, partant de cette

molécule, aboutirait à la surface du liquide, il résulte 1o. que tous les points d'une tranche horizontale quelconque d'une masse liquide supportent une même pression ; que la somme des pressions supportées par une tranche horizontale est égale au poids d'un cylindre liquide qui aurait pour base l'étendue de cette tranche et pour hauteur la distance de cette tranche au niveau du liquide ; 3o. que la pression exercée sur une étendue très-petite d'une paroi horizontale, verticale ou inclinée, est perpendiculaire à cette paroi, cette pression devant être détruite par la résistance de cette surface, et la surface d'un corps ne pouvant résister que perpendiculairement à sa direction ; et que cette pression est égale au poids d'un cylindre liquide qui aurait pour base la petite portion de la paroi que l'on considère, et pour hauteur, sa distance à la surface du liquide ; 4o. que les pressions, étant égales sur tous les points de la paroi horizontale inférieure d'un vase, la pression totale que cette paroi supporte est égale au poids d'un cylindre liquide qui aurait pour base cette paroi, et pour hauteur, la hauteur du liquide dans le vase ; de sorte qu'on a toujours la même pression, quelle que soit la forme du vase, pourvu que l'étendue du fond du vase et la hauteur du liquide restent les mêmes.

Pression sur le fond des vases. Une paroi quelconque d'un vase, comme nous l'avons vu, ne pouvant résister que perpendiculairement à sa surface, il en résulte qu'il n'y a que la somme des colonnes de molécules qui agissent perpendiculairement sur le fond de ce vase qui puisse exercer de pressions sur cette paroi, et, comme la somme totale de ces colonnes peut être considérée comme un cylindre liquide, qui aurait pour base l'étendue du fond du vase, et pour hauteur, la hauteur du liquide dans ce vase, il s'en suit que si trois vases (fig : 19, 20, 21.), ayant même base, renfermaient un même liquide, à la même hauteur, quelles que soient d'ailleurs leur forme et leur capacité, les pressions sur les bases seront les mêmes : c'est ce que l'on peut prouver en adoptant à ces trois vases des fonds à charnière tenus fermés au moyen de poids ; un même poids est nécessaire pour les tenir fermés ; ce qui prouve qu'ils supportent une même pression.

La pression sur un point quelconque de la paroi d'un vase, étant indépendante de la forme du vase, il en résulte qu'avec une très-petite quantité d'eau, on peut produire une pression énorme capable de briser les vases les plus résistants. En effet, si l'on plaçait à la partie supérieure d'un vase plein d'eau (fig : 22.) un tube très-étroit AB, également plein d'eau, la pression, sur toutes les parties du vase, serait égale à celle d'un prisme d'eau, qui aurait pour base l'étendue de la paroi, et pour hauteur, la distance de son centre de gravité à la surface du liquide dans le tube AB. Par exemple, si chaque face circulaire MN, M'N' avaient un mètre carré d'étendue, et si la hauteur de AB était de 5 mètres, la pression sur chaque face latérale serait équivalente à un prisme d'eau qui aurait 1 mètre de base et 5m. 56 de hauteur, car le centre de gravité des faces est éloigné de B de 0m. 56 ; or, ce poids équivaut à 12355 livres environ, et cette pression énorme est produite par le liquide renfermé dans le tube AB, dont le poids peut être aussi petit que l'on voudra ; on peut de cette manière faire éclater très-facilement un tonneau.

Si les exemples en grand nombre ne constataient pas la vérité de ces lois de la pression des liquides, on serait prêt à les regarder comme des paradoxes, tant elles sont surprenantes. En effet, comment croire qu'une faible quantité d'eau puisse produire des effets prodigieux et des pressions égales à celles d'une grande masse du même liquide, pourvu que les fonds des vases aient même étendue et que le liquide soit à la même hauteur dans les deux réservoirs ; mais cela vient de ce que l'on confond la pression exercée par les liquides sur les parois des vases, avec la pression que supporte le corps sur lequel est placé le vase.

Pression contre les parois des vases renfermant différents liquides. Lorsqu'un vase renferme différents liquides sans action chimique les uns sur les autres, ces liquides se placent par couches horizontales, suivant leur degré de densité, et la pression que chacune des molécules éprouve est toujours égale au poids de la file verticale de molécule située au-dessus d'elle jusqu'à la surface.

Il est évident que si l'on fesait éprouver à la surface libre du liquide une pression quelconque, chacun des points de la paroi du vase supporterait cette nouvelle pression en totalité, indépendamment de la pression due au poids du liquide.

Equilibre des liquides renfermés dans des vases communiquants. Nous avons vu qu'une molécule quelconque, dans l'intérieur d'un liquide, éprouve dans tous les sens une pression égale au poids de la file verticale de molécules situées au-dessus d'elles jusqu'à la surface ; que toutes les molécules d'une même couche horizontale subissent la même pression, qu'elles font subir à leur tour aux parois du vase qui les tiennent en équilibre stable par une réaction égale à leur pression ; que si cette réaction en un point quelconque des parois vient à manquer, les molécules étant poussées au côté opposé par une pression égale au poids des files verticales de molécules situées au-dessus d'elles, elles tendront à s'élever du côté où elles ne rencontreront point d'obstacle avec une force égale à cette pression exercée sur elles. Ainsi quelque soit le nombre des vases que l'on fera communiquer par des tuyaux de conduite, lorsqu'on en remplira un d'un liquide quelconque, ce liquide s'élèvera dans tous les vases au même niveau, puisque les points des parois, où s'ajustent les tuyaux de conduite, n'offrant pas de réaction contre la pression du liquide, en ces points, l'équilibre est rompu, et qu'il faut que le liquide s'élève au même niveau dans tous les vases pour qu'il y ait partout égalité de pression. On peut vérifier cette loi au moyen de l'appareil (fig : 23). On remplit d'un liquide quelconque le réservoir A qui communique inférieurement au moyen d'un tuyau horizontal avec des vases B, C, D, de forme et de dimensions arbitraires ; on établit ensuite la communication au moyen du robinet M, et le liquide s'élève dans tous les vases à la même hauteur. Si l'un des vases D, par exemple, ne s'élève pas jusqu'au niveau du liquide dans le réservoir A, ce dernier s'élance par l'ouverture du vase jusqu'à la hauteur à laquelle il serait parvenu si le vase eût été suffisamment prolongé ; mais il n'y parvient jamais pour des causes que nous expliquerons bientôt. C'est sur le principe de la tendance des liquides à se mettre de niveau qu'est

appuyée la construction des aqueducs dans certaines villes : on fait venir l'eau d'une hauteur voisine par des canaux souterrains, et le liquide tendant à se mettre de niveau avec le réservoir placé sur la hauteur, jaillit avec force pour se distribuer abondamment, par le moyen de tubes communicants, à presque toutes les maisons d'une ville.

Niveau a bulle d'air. Il y a plusieurs sortes de *niveaux* ; mais celui qui est le plus généralement employé dans les arts et dans les sciences est le *niveau à bulle d'air*, qui est destiné à connaître si une ligne est horizontale. Il est formé (fig : 24.) d'un tube de verre d'environ 6 à 7 pouces de long sur un $\frac{1}{3}$ de pouce de diamètre, rempli presqu'entièrement d'un liquide coloré et fermé parfaitement à ses deux extrémités. On donne une légère courbure au tube à son milieu, afin que la bulle d'air s'y arrête lorsque l'instrument est parfaitement de niveau ; on le place dans un cylindre de cuivre échancré, pour que l'on puisse voir le mouvement de la bulle d'air.

Capillarité. On désigne sous le nom de *capillarité* les lois d'équilibre que suivent les liquides situés dans des espaces très-étroits que l'on appelle capillaires, c'est-à-dire, petits comme des cheveux. Si vous plongez un corps dans un liquide quelconque, ce liquide s'élève ou s'abaisse autour du corps, et, à l'endroit de l'élévation ou de la dépression, il se termine par une surface concave ou convexe (fig : 25.). Il y a quelques corps cependant qui ne suivent pas cette loi : tel est l'acier poli, par exemple, lorsqu'on le plonge dans l'eau le liquide est de niveau jusqu'au contact.

Si l'on plonge dans un liquide deux corps entre lesquels il s'élève ou s'abaisse, deux lames de verre, par exemple, le liquide s'élève ou s'abaisse d'autant plus que l'espace qui sépare ces deux corps est plus étroit. Dans un tube cylindrique le même liquide s'élève ou s'abaisse deux fois plus qu'entre deux lames parallèles qui sont à une distance égale au diamètre intérieur du tube ; lorsque deux tubes sont placés l'un dans l'autre, l'élévation ou la dépression entre ces deux tubes sont les mêmes que celles des lames parallèles situées à une distance égale à l'espace compris entre les deux tubes.

Ces phénomènes ont lieu dans le vide comme dans l'air ; ce qui prouve que l'action de l'air n'y est pour rien. L'élevation ou la dépression des liquides dans les espaces capillaires, n'ont pas lieu en proportion de la densité des liquides : ce qui prouve aussi que l'action de la pesanteur n'a aucune part à leur production. La cause qui les fait naître ne peut donc exister que dans l'action que le liquide exerce sur lui-même et dans celle qu'il exerce sur la substance du tube. Cette action du liquide sur la substance du tube n'a d'effet qu'à une distance extrêmement petite, puisque, quelle que soit l'épaisseur du tube, l'élévation ou la dépression sont sensiblement les mêmes. Elles ne varient pas non plus suivant la nature du tube. Si l'action du corps, qui est plongé dans un liquide, est plus grande sur ce liquide que l'action du liquide sur lui-même, le liquide s'élèvera, et sa surface sera concave : c'est ce qui arrive pour les corps qui peuvent être mouillés ; si l'action du corps plongé sur le liquide est égale à l'action du liquide sur lui-même, la surface du liquide sera plane, et sa surface intérieure

sera de niveau avec sa surface extérieure : c'est ce qui à lieu pour l'acier ; si au contraire l'action du corps sur le corps est plus petite que l'action du liquide sur lui-même, le liquide s'abaissera et il prendra la forme convexe ; puisqu'un corps qui n'est soumis à aucune autre action qu'à l'action réciproque de ses molécules, tend à prendre la forme sphérique : c'est ce que l'on voit dans les corps qui ne peuvent être mouillés par les liquides, comme les corps gras, et les corps qui sont plongés dans le mercure.

C'est en vertu de la capillarité que les cordes, le linge, le sable, le sel, les éponges et un grand nombre d'autres corps sont mouillés à une distance plus ou moins considérable au-dessus du niveau du liquide, dans lequel baigne leur partie inférieure.

Equilibre des corps plongés dans les liquides. Si un corps est plongé dans un liquide, il n'y sera en équilibre, 1o. que lorsque ce corps et le fluide déplacé auront même densité ; 2o. lorsque leurs centres de gravité se trouveront sur la même verticale ; 3o. pour que l'équilibre soit stable, il faudra que le centre de gravité du corps soit le plus bas possible.

Les corps flottants suivent les mêmes lois d'équilibre que les corps submergés. Pour qu'ils puissent flotter, il faut que leur pesanteur spécifique soit moindre que celle du fluide déplacé, ou il faut que leur poids soit plus petit que celui du volume d'eau qu'il tendent à déplacer. Un chaudron, par exemple, dont la matière est d'une pesanteur spécifique beaucoup plus grande que celle de l'eau, flotte facilement dans le liquide, parce qu'il tend à déplacer un volume d'eau beaucoup plus pesant que le sien.

Mouvement d'une masse liquide pendant son écoulement. Lorsqu'un vase ABCD est percé à sa partie inférieure par un petit orifice, les molécules liquides se meuvent verticalement jusqu'à une petite distance de l'orifice, après quoi elles y viennent dans toutes les directions. Il en sera de même si l'orifice est latéral. Le liquide dans le vase pendant son écoulement, n'est pas toujours terminé par une surface horizontale. Lorsque le liquide sort verticalement par un orifice placé au fond du vase, et que le niveau est situé à une petite distance de l'orifice, le liquide prend la forme d'un entonnoir. Si vous donnez au liquide un mouvement de rotation, l'entonnoir se développera plutôt, de même que si le vase avait lui-même la forme d'un entonnoir. Si l'orifice était latéral, il n'y aurait point d'entonnoir, mais il se ferait une dépression au-dessus de cet orifice.

Le diamètre de la veine liquide qui s'échappe de l'orifice d'un vase est toujours plus étroit que le diamètre de l'orifice ; c'est ce que l'on appelle contraction de la veine liquide. La vitesse du fluide qui s'écoule est d'autant plus grande que ce liquide est plus élevé dans le réservoir, et à quelque distance de l'orifice, il finit par se disperser en goutelettes : ce dernier effet est causé par la résistance que l'air fait éprouver au liquide. Le même phénomène a lieu lorsque le jet est dérigé de bas en haut ; voilà pourquoi, quelle que soit la force de projection d'une pompe à feu, elle ne peut lancer l'eau qu'à une certaine hauteur.

L'écoulement des liquides dans de long tuyaux ne suit pas les mêmes lois que lorsqu'il a lieu dans un orifice percé en mince paroi ; parce que, dans ce dernier cas, la vitesse, qui va croissante jusqu'à un certain point, finit par devenir uniforme, à cause du frottement continuel qu'éprouve le liquide.

Eaux jaillissantes. Lorsqu'un jet est vertical et dirigé au-dessus de l'horizon, il doit s'élever jusqu'à la hauteur du réservoir ; mais il n'y parvient jamais : 1o. à cause du frottement dans le tuyau de conduite et dans l'ajutage ; 2o. à cause de la chûte du liquide qui retombe sur celui qui s'élève. On a trouvé le moyen d'augmenter la hauteur du jet, 1o. en prenant des orifices d'un très-petit diamètre comparativement à celui du tuyau de conduite ; 2o. en perçant ces orifices dans une paroi très-mince, et en inclinant un peu le jet. On parvient même à élever l'eau au-dessus du niveau en fesant arriver un courant d'air au centre de l'ajutage ; l'air se mélant alors à l'eau la rend plus légère, et elle peut s'élever davantage.

Mouvement oscillatoire des liquides. Les liquides peuvent éprouver deux espèces d'oscillations ; la première a lieu lorsque vous pressez une masse liquide ou que vous la soulevez par quelque moyen, par l'aspiration, par exemple ; vous voyez que le liquide s'élève et s'abaisse tour à tour pendant un certain temps, jusqu'à ce qu'enfin il prenne sa première position d'équilibre. L'autre a lieu lorsque l'on jette des petits corps dans un liquide ; on voit naître alors une foule d'ondes circulaires concentriques les unes aux autres, et qui s'étendent indéfiniment. Lorsque ces ondes viennent à rencontrer un obstacle fixe, elles se réfléchissent sur cet obstacle, et vont en sens contraire, de la même manière que si elles se fussent propagées directement. La partie qui n'a pas été interrompue par l'obstacle se reforme complètement derrière cet obstacle, comme s'il n'y avait pas eu d'interruption. Si au lieu de ne jeter qu'un seul corps vous en jetez plusieurs sur la surface du liquide, il y aura plusieurs séries d'ondes qui se croisseront sans se briser.

Emploi des corps liquides pour transmettre et modifier les forces. Nous avons vu précédemment que lorsqu'un liquide est enfermé de toutes parts, et que l'on exerce une pression à l'un de ses points, cette pression se transmet dans tous les sens. C'est sur ce principe qu'est fondé l'emploi des liquides comme machines. La plus importante des machines dont le jeu repose sur la propriété des liquides est *la presse hydraulique*, dont la découverte est due à Pascal.

Presse hydraulique. On a vu précédemment que, si l'on conprime un point quelconque de la surface d'un liquide, cette compression se transmet toute entière à tous les autres points du liquide ; c'est sur cette loi de la compression des liquides qu'est appuyée la construction de la presse hydraulique. En effet, imaginons deux pistons M et N, qui s'appliquent sur les surfaces libres d'un liquide placé dans un tube recourbé dont les deux tranches perpendiculaires sont de diamètre différents ; et supposons, pour un instant, que la surface du plus petit piston N ne soit qu'un point ; si la surface du piston M est 100 fois plus grande, la pression que l'on aura imprimée au piston N se transmettra toute entière en sens contraire a chacun des 100 points de la surface

du piston M, et par conséquent, il éprouvera à sa partie inférieure une pression 100 fois plus grande que celle du piston N. Ainsi plus l'un des pistons sera grand, comparativement à l'autre, plus la pression qu'il éprouvera à sa surface inférieure sera grande. Mais ici comme dans le levier, l'on gagne en force ce que l'on perd en vitesse, et réciproquement l'on gagne en vitesse ce que l'on perd en force ; en effet, si la surface d'un des pistons est 100 fois plus grande que celle de l'autre, le réservoir dans lequel il plongera sera 100 fois plus grand que celui dans lequel plongera l'autre piston, et lorsque le piston M descendra d'une ligne, par exemple, il fera monter le piston N de 100 lignes ; mais en revanche, pour faire parcourir au piston M cet espace, il faudra lui imprimer une force 100 plus grande que pour faire mouvoir le piston N.

D'après cela on concevra facilement la disposition et l'effet de la *presse hydraulique*. La fig : 26, réprésente l'élévation d'une presse hydraulique, et la fig : 27, une coupe sur une plus grande échelle de la pompe d'injection. A est le corps de la presse, c'est un cylindre de fonte ou de bronze, ouvert seulement par la partie supérieure, pour recevoir le piston B ; ce dernier est un cylindre qui ne frotte contre le corps de pompe qu'à sa partie supérieure ; *a* est une cavité annulaire, garnie d'un cuir que l'eau ne peut pénétrer, replié et disposé de manière qu'il s'applique contre le piston d'autant plus que la pression est plus grande. C est un plateau de fonte fixé sur le piston, qui monte et descend avec lui, et qui sert à presser les objets contre la traverse fixe E, soutenue par les colonnes de fonte DD. F, pompe d'injection qui manœuvre au moyen d'un levier G *d*, auquel on imprime un mouvement de va-et-vient, dans le sens vertical, autour d'un des points d'appui *d* plus ou moins rapproché de la tige du piston H. J, réservoir plein d'eau dans lequel s'alimente la pompe d'injection ; K, tuyau de communication entre les deux pompes ; L, soupape à poids qui sert à mesurer la pression ; M, vis servant de soupape, au moyen de laquelle on opère la dépression en vidant l'eau qui retombe dans le réservoir J ; N autre vis qui sert à permettre ou à arrêter le jeu de la soupape *l*, par laquelle l'eau s'introduit dans le tuyau de communication ; O, soupape d'aspiration ; P, crapaudine ou passoire que l'eau traverse pour arriver à la pompe d'injection ; Q, tampon à vis dans lequel passe le piston H de la pompe d'injection. Lorsqu'on élève le piston de la pompe d'injection H, la pression de l'air sur l'eau du réservoir J fait ouvrir la soupape *o*, et le corps de pompe se remplit de liquide. Lorsqu'on a baissé le piston, l'eau renfermée dans le corps de pompe, par la pression qu'elle éprouve, ferme la soupape *o*, ouvre la soupape *l*, s'introduit dans le cylindre A, fait monter le piston B, et comprime les objets placés au-dessus de la plaque C. Lorsque les objets doivent rester en presse, on ferme la soupape *l* au moyen de la vis N ; enfin on produit la dépression en détournant la vis M. Pour calculer l'effet de cette machine, supposons qu'on applique à l'extrémité du levier G*d* un poids de 25 livres, que la longueur de G*d* soit de 3 pieds et de *cd* de 2 pouces, on aura 25 multipliés par 36, ce dernier résultat divisé par 2, c'est-à-dire, que la tête du piston sera pressée par un effort de 450 livres. Mainte-

nant, si la surface inférieure du piston B est 100 fois plus grande que celle du piston de la pompe foulante, en multipliant 450 par 100 on aura 45,000. Ainsi les corps placés sur le plateau C seront pressés avec une force équivalante au poids de 45,000 livres.

Emploi des liquides comme moteurs. Lorsqu'un liquide est en mouvement, on peut toujours utiliser sa force ou une partie de la force qui l'anime pour faire mouvoir une machine. On n'emploie jamais comme moteurs que les liquides mis en mouvement par leur propre pesanteur; parce qu'il serait plus avantageux d'appliquer immédiatement à la machine la force qu'il faudrait employer pour mettre le liquide en mouvement. Pour que l'eau soit employée comme force motrice, il faut qu'elle s'écoule par son poids sur une pente plus ou moins inclinée, ou qu'elle tombe brusquement d'une certaine hauteur. Quelle que soit la nature de la machine destinée à recevoir la force motrice de l'eau, il est impossible de la prendre en totalité ; parce qu'il faut 1o. que l'eau, après avoir agi, s'écoule pour faire place à celle qui la suit, et qui doit agir à son tour ; 2o. l'appareil, qui reçoit l'action de l'eau pour transmettre le mouvement à la machine, doit céder sous l'effort de l'eau, acquérir une certaine vitesse, et, par conséquent, l'eau n'agit plus qu'avec l'excès de sa vitesse sur celle du corps qui la reçoit. Ainsi jamais la totalité de la force d'un courant ne peut se communiquer à une machine.

CORPS GAZEUX.

Constructions des corps gazeux et phénomènes qui en résultent. Dans les corps gazeux, les molécules sont placées à une distance telle qu'elles ne sont plus en équilibre, et que la force élastique de la chaleur a vaincu l'attraction réciproque des molécules, de sorte qu'elles peuvent se mouvoir les unes autour des autres avec une extrême facilité.

De l'air. L'air est ce fluide dans lequel nous sommes continuellement plongés, et qui est nécessaire à l'existance de tous les animaux terrestres. Sa masse entière,qui enveloppe toute la surface du globe terrestre jusqu'à la hauteur d'environ 16 lieues, porte le nom d'atmosphère. L'atmosphère tourne avec la terre ; car autrement, l'air en repos nous ferait éprouver une résistance égale au choc qui aurait lieu si la terre était immobile et si l'atmosphère avec un mouvement égal et opposé ; il y aurait alors un courant d'air continuel dont la vitesse à l'équateur serait d'environ 15190 pieds et 7 pouces par seconde, tandisque dans les ouragans les plus violents qui déracinent les arbres et renversent les édifices, la vitesse du vent n'est que d'environ 147 pieds et 7 pouces par seconde.

La résistance que l'air et les autres gaz, que l'on appelle aussi fluides élastiques, opposent au mouvement, et la faculté qu'ils ont de le communiquer, sont des preuves incontestables de leur pesenteur. Pour déterminer la pesanteur spécifique de l'air on prend (fig : 28.) un ballon de verre A, d'une capacité connue, garni d'une virole à rabinet B ; on pèse le ballon plain d'air ; ensuite, au moyen de la machine *pneumatique* que nous expliquerons plus tard, on enlève l'air qu'il

contient ; on pèse de nouveau le ballon, et on trouve qu'il a diminué de poids. Comme on connaît la capacité du ballon, on connaîtra facilement le poids du volume d'eau qu'il peut contenir ; en divisant ce poids par celui de la différence du ballon pesé plein d'air et ensuite vide, différence qui est évidemment égale au poids du volume d'air que le ballon contient, on trouve que l'air est 720 fois moins dense que l'eau. Pour déterminer la densité des autres gaz, on est convenu de la rapporter à celle de l'air atmosphérique sous la pression de 28 pouces, et à la température de la glace fondante. On a pris un gaz pour terme de comparaison, afin que les densités ne soient pas exprimées par des fractions trop petites ; on a pris l'air, parce que ce gaz est de même nature sur toute la surface de la terre et dans toutes les saisons ; enfin l'on prend une pression et une température constantes, parceque la densité des gaz varie avec ces deux éléments. Pour déterminer la pesanteur spécifique d'un gaz, on pèse un ballon, (fig : 29) on enlève l'air qui y est contenu comme dans l'expérience précédente ; on fait rentrer l'air ensuite à travers un tube de verre plein de chlorure de chaux, afin de le dessécher ; on répète plusieurs fois cette opération, pour enlever entièrement l'humidité qui se trouve dans le ballon. Après quoi on pèse le ballon tour-à-tour plein d'air, sec et vide, et la différence des deux poids donne celui de l'air. Ensuite on fait le vide de nouveau, toujours en opérant de la même manière, pour désécher l'intérieur du vase. La différence de poids du ballon pesé vide et plein d'air, donne évidemment celui du gaz; maintenant en divisant le poids de ce gaz, contenu dans le ballon par celui de l'air contenu dans le même ballon, on aura la pesanteur spécifique du gaz.

Tableau de la densité des principaux gaz.

Air atmosphérique,	1,0000	Gaz Azote,	0,976
Gaz hydriodique,	4,428	" hydrogène,	0,0688
" fluosilicique,	3,5735	Vapeur d'eau,	0,6235
" acide carbonique,	1,524	" d'alcool,	1,6133
" oxigène,	1,1026		

L'air est compressible. C'est ce que l'on prouve en pressant une vessie pleine d'air ; ce fluide communique dans tous les sens la pression qu'il reçoit. On prouve que les gaz comme les liquides, communiquent dans tous les sens la pression qu'ils reçoivent en un point quelconque de leur surface. AB (fig : 30.) est un cylindre dans lequel se meut un piston ; *m* est un réservoir plein d'air, communiquant avec la partie inférieure du corps de pompe, et dont la paroi est percée d'un grand nombre de petits orifices qui reçoivent des tubes recourbés contenant un même liquide. Si ensuite vous faites descendre le piston, l'air comprimé établit dans tous les tubes la même différence de niveau.

Lorsque l'air est renfermé dans un vase ouvert, il conserve constamment son volume, parce que l'air extérieur, dont la densité est égale à la sienne, possède une force élastique qui est égale à sa force d'expension, et qui la détruit ; mais si le vase était fermé, et que ses parois fussent capables de résister à la pression de l'air extérieur, en

augmentant la capacité du vase, l'air intérieur se délaterait, et occuperait toujours la totalité de l'espace ; en même temps sa force élastique décroîtrait, et le vase serait plus comprimé par l'air extérieur que par l'air intérieur. De sorte que, si une portion de la paroi se trouvait mobile, après la dilatation de l'air intérieur, cette portion serait refoulée vers l'intérieur, avec une force d'autant plus grande, que le fluide intérieur serait plus dilaté. Cette pression, exercée par l'air et les autres gaz sur les parois des vases qui les contiennent, porte le nom de *force élastique* ou de *tension*.

La condition d'équilibre pour les gaz est que leurs densités, et par-conséquent, que leur force élastique soient les mêmes dans une couche horizontale, et que les fluides les plus denses soient les plus bas, lorsqu'il y a différents gaz. Comme les gaz sont extrêmement compressibles, leur densité doit nécessairement augmenter avec le poids de la masse qui pèse sur eux ; voilà pourquoi, dans l'atmosphère, la densité décroît à partir de la surface de la terre jusqu'au sommet de la colonne atmosphérique, parce que, à mesure qu'on s'élève, l'air a une moindre masse à supporter.

La pression que l'atmosphère exerce sur nous est très-considérable ; on parvient à la mesurer au moyen d'un instrument nommé baromètre. On prend un tube de verre, (fig : 31.) fermé à une de ses extrémités, on le remplit de mercure, puis on le bouche avec le doigt, et on le renverse dans une cuvette pleine de mercure. Si la colonne de mercure dans le tube a plus de 28 pouces, elle descendra jusqu'à 28 pouces. Si l'on prend un tube d'une grande longueur, et qu'au lieu de le remplir de mercure, on le remplisse d'eau, la colonne se maintient à environ 32 pieds. Si c'est de l'acide sulfurique, le liquide demeure suspendu à une hauteur d'environ 16 pieds. En 1646, Pascal fit une semblable expérience à Rouen : le tube avait 46 pieds de longueur ; il le remplit de vin, et le ferma avec un bouchon ; le tube fut alors relevé à l'aide de cordes et de poulies. L'extrémité du tube qui avait été fermée, étant plongée dans l'eau, et le bouchon étant enlevé, le liquide s'abaissa dans le tube, et il se soutint à la hauteur d'environ 32 pieds. Quelles que soient la forme, les dimensions ou l'inclinaison des tubes, la hauteur verticale est toujours la même pour un même liquide.

Les liquides s'élèvent d'autant moins qu'ils sont plus denses, et leur élévation est en raison inverse de leur densité. Ainsi le mercure qui est environ treize fois et demie plus pesant que l'air, s'élèvera environ treize fois et demie moins ; car, en multipliant 28 pouces, qui est la hauteur à laquelle s'élève le mercure dans le tube, par 13,56, qui est la pesanteur spécifique du mercure, on aura 32 pieds, qui est en effet la hauteur à laquelle s'élève l'eau par la pression de l'air.

L'expérience a été faite pour la première fois par Toricelli, et l'appareil que nous venons de décrire porte le nom de tube de Toricelli. C'est donc Toricelli qui a inventé le baromètre. Pascal pour prouver plus invinciblement que c'est la pression extérieure de l'air qui fait monter les liquides dans les tubes, fit monter un de ses amis sur le sommet de Puy-le-Dome, avec un tube de Toricelli. Comme la pression de l'air doit être moins grande à mesure qu'on s'élève, le liquide doit baisser dans la même proportion. Il arriva en effet ce que Pascal avait prévu.

C'est à la pression de l'air qu'est due l'élévation du liquide dans un tube, à l'extrémité duquel on aspire. En aspirant, l'air intérieur se dilate et devient moins dense ; alors il n'est plus en équilibre avec l'air extérieur, il ne le sera que lorsque le liquide, montant par la pression extérieure de l'atmosphère, l'aura assez comprimé. Pour obtenir un bon baromètre, il faut 1o. que le mercure soit très-pur, parce que sa densité s'altère avec sa pureté, et, pour qu'il n'adhère pas aux parois du verre, et qu'il puisse se mouvoir librement ; 2o. que l'appareil soit disposé de manière que l'on puisse mesurer, à chaque instant, la hauteur de la colonne intérieure au-dessus du niveau extérieur ; 3o. que le tube et le mercure soient privés d'air et d'eau, et que le vide soit parfait au-dessus de la colonne barométrique, parceque la vapeur d'eau et l'air qui y seraient ou qui s'y rendraient, par leur force élastique, feraient baisser la colonne. Pour cela, on commence par chauffer le tube, et on y introduit du mercure jusqu'au tiers de sa longueur environ. On le fait bouillir, et l'air et la vapeur d'eau dilatée se dégagent facilement ; on continue la même opération jusqu'à ce que le tube soit plein.

La hauteur moyenne du baromètre, au niveau de la mer, est d'environ 28 pouces ; mais elle diminue à mesure qu'on s'élève. Sausure, sur le sommet du Mont-St-Bernard, vit descendre la colonne jusqu'à la hauteur de 21 pouces ; et lorsque Mr. Gay-Lusac fut parvenu, dans un ballon, à sa plus haute élévation, la colonne baissa jusqu'à un peu plus de 11 pouces et 3 quarts. Sous la pression de 28 pouces, en supposant que la base de la colonne de mercure fût un centimètre carré, son poids 2 onces et 1 dragme, multiplié par 13,568, densité du mercure, donnera 1 livre et 12 onces. En supposant que la surface d'un homme soit d'environ 4 pieds et 11 pouces carrés, on trouvera qu'il supporte un poids de 300 quintaux ordinaires. Cette énorme pression, qui écraserait l'homme, est contrebalancée par les fluides qui sont dans l'intérieur des corps ; de même une simple feuille de papier, qui recouvre un vase, demeure stable, sans se déchirer, parce que l'air intérieur fait équilibre à l'air extérieur.

Les usages du baromètre sont très-multipliés ; on s'en sert le plus ordinairement pour prévoir les changements qui doivent arriver dans l'atmosphère, et pour mesurer les hauteurs des montagnes. Mais pour ce dernier cas, l'abaissement de la colonne, à mesure que l'on s'élève, suit des lois qui exigent, pour les comprendre, une certaine connaissance de la mécanique.

Sur les hautes montagnes et dans les ascensions aérostatiques, le voyageur se trouvant dans un air plus raréfié, respire avec plus de difficulté ; s'il continue à s'élever, les liquides contenus dans le corps tendent à s'échapper, et même des petites vaines se rompent ; au contraire, si vous rendez l'air très-dense, ce qui arrive lorsque qu'un homme descend au fond de l'eau sous une cloche, il viendra un temps que l'air, qui l'environne, pressera tellement le corps qne les fluides intérieurs ne pouvant plus tenir l'équilibre, s'échapperont, et le sang sortira par tous les organes

Loi de Mariotte. Les volumes des gaz sont en raison inverse des pressions qu'ils éprouvent, c'est-à-dire, que le volume d'un gaz de-

vient 2, 3, 4 fois plus petit, si la pression, qu'on lui fait éprouver, devient 2, 3, 4 fois plus grande. C'est Mariotte qui, le premier, a trouvé cette loi, et c'est pour cela qu'elle porte le nom de *loi de Mariotte*; elle a depuis été confirmée par une multitude d'expériences. Il faut cependant que les gaz que l'on considère soient exempts d'humidité, et que l'on fasse les expériences à la même température, ou que du moins l'on tienne compte des variations de chaleur, puisque leur volume varie avec la température. Pour dessécher le gaz que l'on veut soumettre à l'expérience, on le fait passer à travers un tube qui contient du chlorure de calcium calciné, ou toute autre matière déliquescente.

Aérostats. Les *ballons* ou *aérostats* sont des corps qui s'élèvent dans l'air par leur légèreté spécifique. Ce fut Mongolfier qui, en 1782, construisit le premier ballon; il était recouvert d'une enveloppe de papier, et rempli d'air dilaté par la chaleur. Mais ce fut Mr. Charles qui fit la première ascension dans les régions de l'air; il avait substitué le gaz hydrogène à l'air delaté par la chaleur, pour avoir une force ascensionnelle plus grande, (ce gaz étant environ 13 fois plus léger que l'air,) et aussi pour éviter l'inconvenient et les dangers d'un foyer continuel de chaleur; il avait remplacé l'enveloppe de papier par une enveloppe de taffetas enduite de gomme élastique, afin d'avoir une enveloppe qui ne fût pas altérée par l'humidité de l'air, et qui pût résister à la dilatation du gaz intérieur.

Les ballons, dont on se sert pour s'élever dans l'atmosphère, sont à peu près sphèriques, (fig: 32.). L'enveloppe est formée de faiseaux cousus, qui sont recouverts d'un vernis de gomme élastique ou d'huile de lin lithargirée. Au-dessus du ballon est une soupape à ressort, que l'on ouvre au moyen d'une corde qui traverse le ballon; le ballon est recouvert d'un filet, dont les fils se réunissent par groupes à son équateur, et descendent pour soutenir une nacelle en osier. On ne doit jamais fermer le ballon; on le laisse ouvert à sa partie inférieure; on ne le gonfle jamais entièrement, parceque la dilatation du gaz intérieur, quand il arriverait dans les hautes régions de l'air, le briserait infailliblement. Quand on veut monter, on jette du sable dont on a chargé la nacelle, et quand on veut descendre on ouvre la soupape. La nacelle est garnie d'une ancre attachée à une corde. Celui, qui jusqu'à nos jours s'est élevé le plus haut dans l'atmosphère, est Mr. Gay-Lusac. Il monta à la hauteur de 24000 pieds environ.

Machine pneumatique. La *machine pneumatique* est destinée à faire le vide; elle se compose de deux corps de pompe (fig: 33 et 34.): les tiges des pistons sont garnies de deux crémaillères qui se meuvent au moyen d'une roue dentée, et cette dernière est mue par un levier AB. Les soupapes d'aspération sont fermées par des cônes garnis de cuir qui descendent dans des cavités de même forme; ces soupapes sont fixées à des tiges qui passent à frottement dur à travers les pistons. Les pistons, en s'élevant, entrainent les soupapes à une petite hauteur, et les replacent en s'abaissant. Quant aux soupapes des pistons, elles sont également coniques, et retenues par un ressort en spirale. Les deux corps de pompe communiquent ensemble, par un même canal, avec un orifice *o*, percé au centre d'un plateau de verre dépoli;

c'est sur ce plateau que l'on pose les cloches qui servent de réservoir ; leurs bords bien dressés et enduits de suif, s'appliquent exactement sur le plateau. L'extrémité du canal, qui se termine par l'orifice *o*, est taraudée ; c'est sur cette vis que l'on adopte les ballons à robinets, d'où l'on veut enlever l'air. Le canal intérieur communique avec une cloche PQ, renfermant un baromètre tronqué. Enfin, deux robinets sont destinés, le premier, à laisser entrer l'air dans l'appareil, et à intercepter ou à établir la communication entre le réservoir et les corps de pompe, et le second, à faire communiquer la cloche PQ avec le grand réservoir. La clef du robinet R est percée d'un canal qui la traverse perpendiculairement, et d'un canal *yz* qui vient s'ouvrir dans l'air sur le bout de la clef. L'ouverture *y* de ce canal est fermée par un bouchon. Quand la machine doit tenir le vide, on tourne l'ouverture latérale *y* vers les corps de pompe, et pour rendre l'air, on la tourne vers la cloche, et on enlève le bouchon.

Les soupapes d'aspiration sont coniques, afin qu'elles puissent se fermer plus exactement ; elles sont soulevées par les pistons, afin que la communication du réservoir avec les corps de pompe puisse s'établir, quelle que soit la force élastique de l'air renfermé dans le premier. Le robinet R remplit deux fonctions différentes ; la dernière est nécessaire pour conserver le vide, car c'est principalement par les corps de pompe que l'appareil peut prendre. Cependant avec les meilleurs machines on n'obtient jamais un vide parfait. Lorsque l'on fait le vide sous une cloche posée sur le plateau de la machine pneumatique, elle y adhère avec une force telle que, si les parois de la cloche n'étaient pas suffisament épaisses, elle serait brisée. Cette adhérence est causée par la pression de l'air extérieur, qui n'est plus équilibré par l'air intérieur, puisqu'il n'y en a plus.

Machine de compression. La *machine de compression* est formée d'un vase de verre C, (fig : 35.) très-épais et d'une forme quelconque, qui sert a recevoir les gaz que l'on veut comprimer. Le vase est recouvert à sa partie supérieure par une forte pièce de bois DD, qui se serre au moyen d'une vis, et il communique à sa partie inférieure avec une pompe foulante, par le moyen d'un canal *gh*, à l'extrémité duquel elle est visée. Lorsqu'on fera descendre le piston, l'air du corps de pompe se condensera, la soupape d'aspiration *n* du piston se fermera, tandisque la soupape *m* s'ouvrira, et l'air du corps de pompe pénétrera dans le réservoir. Il est clair qu'à chaque coup de piston, on introduira dans le ballon le même volume d'air, et que si la résistance du vase est suffisante, on pourra augmenter indéfiniment la densité et la force élastique de l'air qu'il contient.

Pompes. On distingue trois espèces de *pompes*, les *pompes aspirantes*, les *pompes foulantes*, et les *pompes aspirantes et foulantes.*

La *pompe aspirante*, (fig : 36.) se compose d'un tuyau vertical d'aspiration BC, dont l'extrémité inférieure plonge dans le liquide ; d'un piston P, et de deux soupapes *m* et *n* qui s'ouvrent de bas en haut. La soupape inférieure, que l'on appelle soupape d'aspiration, est toujours placée à l'endroit où se joignent le corps de pompe et le tuyau d'aspiration, et la soupape supérieure est située au-dessus du piston. Lorsqu'on baisse le piston, l'air, comprimé entre le piston et

la soupape *n*, lève la soupape *m*, et s'échappe dans l'atmosphère. Ensuite on élève le piston, la soupape *m* se ferme, et l'air contenu dans le tuyau d'aspiration, n'étant plus équilibré par celui du corps de pompe, soulève la soupape *n* pour passer dans le corps de pompe, et de là dans l'atmosphère, quand on rebaisse le piston. A mesure que l'on donne des coups de piston, l'air se raréfie de plus en plus dans le tuyau d'aspiration et dans le corps de pompe, et le fluide intérieur ne fesant plus équilibre à la pression de l'air extérieur, il est évident que le liquide doit monter. Mais la pompe aspirante ne doit jamais avoir plus de 32 pieds au-dessus du niveau du liquide, puisque c'est la pression moyenne de l'atmosphère; ordinairement on ne lui donne que 28 à 29 pieds de hauteur, parce qu'on ne peut jamais obtenir un vide parfait dans l'appareil.

Dans la *pompe foulante*, le piston ne renferme pas de soupape, et sa partie inférieure plonge dans le liquide; le tuyau d'aspiration fait partie du corps de pompe, et il se termine par une plaque de métal percée d'un grand nombre de petits trous. Un tuyau latéral, que l'on appelle tuyau d'aspiration; prend origine à l'extrémité inférieure de la course du piston. Ce tuyau est muni d'une soupape *d* qui permet au liquide de monter quand le piston le presse, mais qui se referme et l'empêche de descendre quand le piston monte. Lorsque le piston monte, le liquide par la pression de l'atmosphère, monte avec lui; mais quand il baisse, le liquide est refoulé dans le tuyau d'ascension, en partie, et en partie par les petits trous de la plaque métallique. Il est clair, qu'au moyen de cette pompe, on peut élever l'eau indéfiniment, pourvu qu'on applique au piston une force suffisante; car plus la colonne d'eau est élevée dans le tube d'ascension, plus il faut appliquer au piston de force pour vaincre sa pression.

Dans la *pompe aspirante et foulante* le piston est sans soupape, et il y a un tuyau d'ascension, comme dans la pompe foulante; mais elle diffère de cette dernière en ce qu'elle a un tuyau et une soupape d'aspiration comme la pompe aspirante. Lorsqu'on élève le piston, l'air se dilate dans le corps de pompe, alors la soupape d'aspiration se lève pour donner passage au liquide; lorsqu'on descend le piston, cette soupape se referme, et le liquide est forcé de refouler dans le tuyau d'aspiration, où, comme dans la pompe foulante, on peut l'élever indéfiniment.

Siphon. Le *siphon* (fig: 37.) est un tube d'une substance quelconque, recourbé de manière qu'une des branches soit un peu plus longue que l'autre, et destiné à transvider les liquides des vases dans d'autres. La branche la plus courte doit toujours être plongée dans le liquide que l'on veut extraire. Pour produire l'écoulement dans le siphon, on aspire à l'extrémité extérieure; mais il faut prendre garde que le liquide ne monte à la gorge. Voici la raison pour laquelle l'écoulement est constant quand on l'a produit une fois. L'atmosphère presse la surface du liquide et le fait monter dans le tube; mais l'atmosphère produit une pression égale à l'autre extrémité du tube, qui empêche le liquide de redescendre; les deux pressions atmosphériques se feront donc équilibre. Maintenant, si vous remplissez le siphon, la colonne extérieure étant plus longue, le liquide ten-

dra a en sortir avec une force égale à la différence des deux colonnes, cette différence étant toute la pression pour déranger l'équilibre entre les deux atmosphères ; l'équilibre étant rompu, le liquide coule facilement jusqu'au moment ou il est de niveau dans le vase avec l'extrémité extérieure du siphon.

Emploi des gaz comme moteurs. Les machines qui sont mues par le vent sont de deux espèces ; 1o. celles qui reçoivent un mouvement de translation rectitique, telles sont les voiles des navires ; 2o. celles qui ne changent pas de lieu et qui reçoivent du vent un mouvement alternatif de rotation ; tels sont les moulins à vent. Mais, comme la puissance motrice qui met ces derniers en mouvement, n'est jamais régulière, et qu'elle devient souvent nulle, comme dans un temps de calme, on ne les emploie que dans les lieux où il ne peut pas y avoir de moulins à eau.

L'AIR CONSIDÉRÉ COMME VÉHICULE DU SON.

Production et propagation du son. On sait que, quand les parties d'un corps élastique ont été dérangées de leur position d'équilibre, elles tendent à y revenir en fesant plusieurs oscillations autour du point d'ébranlement, le depassant en deça et en delà pendant un certain temps, et finissant par s'anéantir. Quand ces vibrations sont très-petites, elles sont isacrones, c'est-à-dire, d'égale durée. Lorsqu'un corps éprouve ainsi un mouvement de vibration, ces vibrations se transmettent à l'air, qui est aussi un corps extrêmement élastique, y produisent des condensations et des dilatations, qui ont lieu d'abord auprès du corps vibrant et qui se communiquent de proche en proche aux couches plus éloignées jusqu'à ce qu'enfin elles viennent frapper l'organe de l'ouie ; c'est cette impression produite sur l'organe de l'ouie que l'on distingue sous le nom de *son*.

Les sons proviennent donc des corps élastiques, puisqu'il n'y a que les corps élastiques qui soient sonores, et que tous les corps élastiques le sont suivant leur plus on moins grand degré d'élasticité. Mais les corps élastiques ne produisent des sons que quand leurs différentes parties éprouvent des mouvements ou des dérangements relativement les uns aux autres ; car, si toute la masse du corps éprouvait un dérangement de translation, sans que ses différentes parties se dérangeassent de leurs positions de repos les unes par rapport aux autres, il ne se produirait pas de son. On peut facilement prouver que les mouvements qui produisent les sons sont oscillatoires, en fesant vibrer une corde bien tendue et fixée aux deux extrémités : les oscillations sont très-sensibles. Quant aux corps où les vibrations ne sont pas apparentes, on peut facilement les constater ; si c'est une cloche, par exemple, en la touchant légèrement d'une pointe aiguë. Si vous produisez un son dans un instrument à vent, vous le sentez vibrer entre vos doigts. Si vous produisez un son continu avec la bouche et que vous approchiez vos dents les unes des autres, elles éprouvent un nombre de battements successifs, qui croissent en intensité à mesure qu'on augmente la force du son, et qui sont plus rapides à mesure que les sons deviennent plus aigus. Lorsque vous parlez, vous éprouvez le même effet en vous mettant la main sur la poitrine.

C'est par l'air ou par les autres corps pondérables que le son se transmet à l'organe de l'ouïe ; car, si l'on produit un son dans un espace vide d'air ou de vapeurs, il ne parvient pas jusqu'à notre oreille. Voici comment on le prouve : on met sous le récipient de la machine pneumatique un mouvement d'horlogerie qui repose sur un coussin de laine ou de plume, afin que le son ne se communique pas à la partie inférieure de l'appareil, et de là à l'air extérieur. Si l'on met ensuite la machine en mouvement, au moyen d'une tige qui pénètre à frottement dur à la partie supérieure du récipient, à mesure que l'on fait le vide le son diminue d'intensité, et il finira par s'anéantir, lors même que l'on verra le marteau frapper sur le timbre. Mais le son redeviendra sensible et augmentera d'intensité à mesure que l'on fera rentrer l'air dans le récipient. On prouve de la même manière la propagation du son à travers les autres gaz et les vapeurs, en les introduisant successivement sous le récipient de la machine pneumatique, et en y mettant en mouvement la sonnerie.

Les liquides et les solides jouissent aussi de cette propriété de transmettre le son. Franklin a entendu sous l'eau, à une demi-lieue de distance, le bruit de deux cailloux frappés l'un contre l'autre. Si, à l'extrémité d'une longue poutre, d'un plançon, par exemple, quelqu'un touche le bois avec la pointe d'une épingle, en plaçant votre oreille à l'autre extrémité vous entendrez facilement le son, lorsqu'il est impossible qu'il parvienne à votre organe par l'entremise de l'air. C'est ainsi que pendant le siége de Québec, en mettant l'oreille contre terre, les habitants de Varennes entendaient le bruit du canon, à plus de 50 lieues de distance.

Nous avons dit que ce sont les oscillations des corps élastiques qui produisent les sons ; que les oscillations ne sont isocrones que quand elles sont très-petites, et que leurs amplitudes, diminuant graduellement, finissaient par s'anéantir après un certain temps ; mais l'isocronisme et la persistance ou continuité des oscillations sont des conditions indispensables pour qu'on puisse obtenir un son musical ; et lorsque ces deux conditions ne sont pas remplies, l'organe éprouve une sensation plns ou moins brève, plus ou moins pénible, qui porte le nom de bruit. C'est ce qui a lieu lorsqu'il n'y a qu'une partie des molécules du corps qui soit mise en vibration par le choc d'un corps brusque. Comme il n'y a qu'une partie du corps qui vibre, le reste de la masse qui est en repos absorbe le mouvement, et les vibrations s'éteignent promptement.

Mode de propagation du son dans l'air. Pour bien comprendre le mode de propagation du son dans l'air, et par analogie dans les autres fluides, il n'y a qu'à examiner un ébranlement instantané produit par une arme à feu. Les molécules les plus voisines du centre d'ébranlement seront chassées et poussées avec violence sur celles qui les avoisinent ; mais, comme l'air est éminament élastique, il s'est condensé du côté où il a été poussé ; et comme il a éprouvé une résistance pour mettre les couches voisines en mouvement, il s'en suit qu'il s'est aussi comprimé de ce côté. Les couches comprimées reprendront, en vertu de leur élasticité, leur densité et leur volume primitifs ; en se dilatant en deux sens elles feront éprouver aux molécules voisines

une double compression causée par leur dilatation et par l'obstacle à se mouvoir des molécules plus éloignées : ainsi de suite jusqu'à ce qu'elles viennent à s'éteindre par l'opposition continuelle de l'air à se mettre en mouvement. Il y aura donc continuellement une onde condensée et une onde dilatée, et chaque onde pourra être considérée comme un centre d'ébranlement, un centre de dilatation et de condensation ; de sorte donc que toutes les molécules, qui avaient été subitement comprimées, se dilatent de tous côtés par l'effet de leur élasticité naturelle, et repoussent de toutes parts les obstacles qui s'opposent à ce mouvement. Mais, si les battements du corps vibrant sont rapides, les condensations et les dilatations des molécules aériennes se succédant avec une grande vitesse, les ondes sonores n'ont pas le temps de prendre toute l'extension que tendrait à leur faire prendre leur élasticité ; car le mouvement produit par les vibrations n'est pas instantané, il dure un certain temps, qui sera d'autant plus court que les vibrations se succéderont avec plus de rapidité. Avant donc qu'elles puissent prendre toute leur extension, elles seront comprimées de nouveau, et cela avec d'autant plus de vitesse que les battements du corps vibrant seront plus rapides. Les ondes sonores, dans certains cas, seront donc plus courtes que dans d'autres : c'est ce qui arrive en effet, et en cela l'expérience est parfaitement d'accord avec la théorie. Ce sont ces ondes plus ou moins courtes, et parconséquent, plus ou moins rapides, qui produisent des sons plus ou moins aigus, comme nous allons bientôt le voir. Mais, comme un corps élastique se dilate avec d'autant plus de force qu'il est plus condensé, lorsqu'on l'a laissé à lui-même, il s'en suit qu'aux dernières limites de la condensation les ondes sonores tendent à se dilater avec plus de force et de rapidité, et que leur force et leur vitesse vont décroissantes jusqu'aux dernières limites de la dilatation. D'ailleurs une onde sonore, en se dilatant, comprime et condense celle qui la suit, par conséquent, la condensation de cette dernière lui donne une élasticité de plus en plus grande, qui s'oppose à la dilatation de la première, et qui va toujours croissante pendant que l'élasticité de cette première diminue dans le même rapport. Ainsi il y aura en même temps une onde comprimée et une onde dilatée, et la plus grande force de dilatation devra se trouver au centre de chaque onde ; de sorte que la vitesse des vibrations diminuera d'intervalle en intervalle, et on n'aura plus un son soutenu, mais seulement intermittant. C'est ce qui arriverait en effet, si les impressions produites par une cause quelconque sur l'organe de l'ouie, de même que sur la vue, ne duraient un certain temps ; temps très-court à la vérité, mais que l'on peut mesurer. Il suffit donc que la nouvelle dilatation des ondes ait lieu dans cet espace très-court, pour qu'on puisse avoir un son soutenu et constant.

On peut se faire une idée assez juste du mode de propagation du son dans l'air, en jetant une petite pierre dans une eau tranquille ; vous verrez alors une multitude d'ondes circulaires concentriques, qui se succèdent avec beaucoup de rapidité, et qui se communiquent sur une assez grande étendue, quoique la cause ne soit pas la même.

D'après le mode de propagation dans l'air, il s'en suit que le son ne se propage pas seulement du côté que l'air a été mis en mouvement,

puisque, en vertu de leur élasticité, chacune de ces particules communique un mouvement vibratoire dans tous les sens, et que chaque point d'ébranlement est le centre d'une multitude d'ondes sphériques concentriques. Mais s'il y a dans le même temps plusieurs points d'ébranlement, chacun de ces points est le centre d'une série d'ondes sphériques qui se croisent sans se troubler, et, à mesure qu'elles s'éloignent de leur centre d'ébranlement, les angles, sous lesquels elles se coupent, diminuent continuellement, et finissent par se confondre, lorsqu'on les considère à une distance assez considérable du centre d'ébranlement. C'est ce qui arrive lorsque deux hommes prononcent en même temps le même mot: si vous êtes près d'eux, vous distinguez facilement les voix de l'un et de l'autre, mais si vous vous éloignez d'eux à une certaine distance, vous n'entendrez plus qu'une seule voix plus forte, composée de la réunion de deux voix. Cela arrive tant que les causes qui produisent les ébranlements ne sont pas trop brusques et trop précipitées, car autrement il n'y aurait que confusion. Vous verrez le même effet dans les liquides; car, en établissant deux ou plusieurs centres d'ébranlements sur la surface d'une eau tranquille, vous verrez plusieurs séries d'ondes circulaires qui se croissent sans se troubler, et qui, à une certaine distance, finissent par se confondre et ne produire qu'une même serie d'ondes liquides; mais si l'ébranlement est violent, vous les verrez se modifier et se briser les unes les autres.

Vitesse du son. En 1738 les membres de l'Académie des sciences déterminèrent la vitesse du son. Les expériences furent faites entre Montlhéry et Montmartre, sur une distance d'environ 95146 pieds; le signal était donné par des coups de canon. Des observateurs, placés d'espace en espace sur la même ligne droite, observaient le temps écoulé depuis l'apparition de la lumière jusqu'à l'arrivée du son; temps que le son mettait à venir jusqu'à eux. Après un grand nombre d'expériences, ils trouvèrent que la vitesse du son est uniforme, c'est-à-dire que, dans un temps double, il parcourt un espace double, et que la vitesse est la même, que le temps soit couvert ou serein, clair ou brumeux, pourvu que l'air soit tranquille; mais, si l'air est agité par le vent, la vitesse du vent, décomposée suivant la direction du rayon sonore, augmente ou diminue de toute sa valeur la vitesse du son, suivant qu'elle est favorable ou contraire à cette vitesse. Enfin la vitesse du son, à la température de 6 degrés, fut trouvée de 1105 pieds et 8 pouces par seconde. Le son se propage aussi uniformément dans les autres gaz, avec une vitesse plus ou moins grande, suivant que les gaz sont moins ou plus denses.

Pour prouver que la vitesse du son est toujours la même, quelque soit la gravité ou l'acuité, Mr. Biot fit placer un joueur de flûte à l'extrémité d'un tuyau d'un des aqueducs de Paris long de 3120 pieds, et il se plaça à l'autre extrémité. On sait qu'un chant musical est assujéti à une certaine mesure que l'on appelle *le temps*, et qui marque exactement l'intervalle des sons successifs; si la vitesse n'avait pas été uniforme pour tous les sons aigus ou graves, le temps ne se serait pas conservé, et ils se fussent confondus on dépassés, laissant entre eux des intervalles plus ou moins longs; mais le chant se conserva parfaitement pur et mesuré.

Intensité du son. Le son diminue d'intensité à mesure qu'on s'éloigne du centre d'ébranlement. En effet, le son se propage dans l'atmosphère en fesant des ondes sphériques concentriques, la masse de l'air ébranlé s'agrandit de toutes parts avec une extrême rapidité, il faut que la même force qui produit le mouvement, ou ce qui est la même chose, que la même quantité de mouvement se partage sur une plus grande étendue ; les dilatations et les condensations devront donc s'affaiblir graduellement dans le même rapport, et finiront par s'anéantir, quand toute la quantité de mouvement sera absorbée par la masse de l'air, et que l'obstacle du fluide à se mouvoir aura vaincu la pression exercée par les ondes plus voisines du point d'ébranlement. D'après le mode de propagation le son sur un même rayon ou une même ligne sonore décroît comme le carré de la distance. Ainsi, si à une distance quelconque du point d'ébranlement on regarde comme 1 l'intensité du son, à une distance double elle sera 4 fois moindre, 9 à une distance triple, 16 à une distance quadruple et 25 fois moindre à une distance quintuple ; ainsi de suite.

Mais, d'après le même mode de propagation dans un tuyau cylindrique, le son ne doit pas diminuer sensiblement d'intensité. En effet, Mr. Biot, d'après des expériences faites dans les tuyaux des aqueducs de Paris, sur une longueur de 3120 pieds, quelque bas qu'il parlât, il lui fut impossible de n'être pas entendu.

Longueur des ondes sonores. Il est facile, d'après la connaissance de la vitesse du son, de déterminer la longueur des ondes sonores. Par exemple, à la température de 15 degrés on a trouvé que la vitesse du son est 1375 pieds et 5 pouces et demi environ par seconde ; si donc un corps fesait une vibration par seconde, il produirait des ondes qui auraient 1375 et 5 pouces et demi de longueur. Si, dans une seconde, le même corps produisait plusieurs ondes, on aurait toujours la longueur de ces ondes, en divisant 1375 pieds et 5 pouces et demi par le nombre de ces ondes. C'est ainsi qu'à été formé le tableau suivant, dans laquel les mesures sont réduites en pieds et en pouces, parce que ce tableau a principalement pour objet les tuyaux d'orgue, dont les longueurs ont été jusqu'ici estimées en pieds et en pouces. C'est de cette manière qu'on a découvert que le dernier son appréciable est de 32 vibrations par seconde.

Nombre des vibrations dans une seconde.		*Longueurs des ondes sonores.*		
Commencement des sons appréciables,	32	32 pieds.		
	64	16		
	128	8		
	256	4		
	512	2		
	1024	1		
	2048	–	6 pouces	
	4096	–	3	
Fin des sons appréciables,	8192	–	–	18 lignes.

Réflexion du son. Le son se réfléchit sur une surface quelconque de la même manière que la lumière, c'est-à-dire que, quand l'onde sonore rencontre un obstacle, elle revient en sens contraire de la même manière et avec la même direction et la même intensité que si l'ébranlement primitif avait eu lieu à l'endroit ou l'onde à rencontré l'obstacle, et le son aura la même intensité a un endroit quelconque, en prenant la somme des deux espaces parcourus, qu'il aurait eu derrière le plan à une distance égale à la somme de ces deux espaces. Comme dans les liquides, il n'y a que la partie qui vient rencontrer l'obstacle qui soit réfléchie ; le reste se propage derrière et se reforme. Voilà pourquoi à travers une grille on entend les sons aussi distinctement que s'il n'y avait pas cette multitude de petits obstacles. C'est à la réflexion du son contre les montagnes et les édifices que sont dus les échos. Lorsque le son revient à l'oreille, après une seule réflexion, on n'entend qu'une seule répétition du son émis. Mais lorsque les ondes sonores éprouvent plusieurs réflexions, et que ces ondes réfléchies viennent à rencontrer l'observateur, on entend un même nombre de répétitions du son primitif. C'est un effet de la réflexion sur les montagnes voisines de Québec que le majestueux écho répété du canon de la citadelle, qui fait l'admiration des étrangers. Si l'obstacle est très-voisin, les sons réfléchis se confondent en partie avec les sons directs, les prolongent et les renforcissent : c'est ce qu'on appelle résonnance. Cet effet à surtout lieu dans les appartements vides ou la voix n'est pas arrêtée par des obstacles sans nombre. L'orateur qui connaît son local sait profiter de cette circonstance ; car, si le mur est très-éloigné, il prolongera sa voix, afin que l'écho n'arrive pas après le son primitif : ce qui le fatiguerait considérablement ainsi que son auditoire.

Si l'obstacle est assez éloigné pour qu'une syllable prononcée revienne après le son primitif, on aura un écho monossyllabique ; on aura un écho dissyllabique, trissyllabique, &c. si deux, trois syllables, &c. se répètent après qu'on les a prononcées.

Transmission du son à travers les liquides. La vitesse du son dans les liquides ne dépend que de la compressibilité du corps. D'après des calculs faits par Mr. Laplace, la vitesse du son dans l'eau fut trouvée de 4717 pieds 11 pouces et demi par seconde. D'après des expériences faites sur le lac Genève, Mr. Colladon avait trouvé que le son parcourt 4727 pieds 9 pouces et 6-10. Cette différence dépend uniquement de l'erreur inévitable des expériences.

Transmission dans les solides. Le son dans les solides se transmet de la même manière que dans l'air ; mais sa vitesse de transmission est beaucoup plus considérable. Si l'on réprésente par 1 la vitesse du son dans l'air, voici quelles sont les vitesses correspondantes dans quelques corps solides.

Etain,	$7\frac{1}{2}$	Bois d'acajou,	$14\frac{1}{2}$
Argent,	9	" d'ébène,	
Bois de noyer,	$10\frac{1}{2}$	" de charme,	
" de chêne,		" d'orme,	
" d'if,		" d'aune,	
" de prunnier,		" de bouleau,	
Cuivre jaune,		" de tilleul,	15
Cuivre,	12	" de cerisier,	

Bois de poirier,	12 à 13	Bois de saule,	16
" de hêtre rouge,		" de pin,	
" d'érable,		Verre,	16½
		Fer ou acier,	
		Bois de sapin,	16½ à 18

Perception et comparaison des sons. On doit distinguer dans la perception des sons 1o. la durée ; 2o. l'intensité ; 3o. le degré d'acuité ou de gravité, 4o. le timbre et l'accentuation.

Le son dure aussi longtemps que le corps qui le produit est en vibration ; la longueur totale des ondes sonores est évidemment égale à l'espace parcouru par le son pendant la durée d'un mouvement vibratoire.

L'*intensité* du son dépend de l'étendue des vibrations, elle reste sensiblement constante, comme nous l'avons dit, lorsque les ondes se propagent dans un tuyau cylindrique ; mais dans un espace libre, elle diminue d'intensité à mesure que les ondes s'éloignent du centre d'ébranlement, et va décroissante comme le carré de la distance.

L'acuité ou la gravité des sons dépend uniquement de la plus ou moins grande vitesse des vibrations ; car si l'on promène un archet sur une corde métallique tendue à ses deux extrémités, à mesure que la longueur de la corde diminuera, on apercevra que le son devient plus aigu, et que les vibrations sont plus rapides.

Le *timbre* est une qualité donnée au son par la nature du corps vibrant ou des corps environnants mis en vibration par lui. C'est par le timbre que des sons, ayant la même intensité et le même degré de gravité ou d'acuité, rendus par divers intruments, différent les uns des autres. On ne connaît pas la nuture de la cause qui produit ces différences de timbre, mais il est probable qu'elles viennent de la nature des sons secondaires, que tel corps est susceptible de produire, tandisque tel autre ne l'est pas ; et que ce sont ces sons secondaires qui viennent modifier le son principal.

L'accentuation est la qualité imprimée à l'origine du son par la voix humaine. Mais les diverses modifications que la voix humaine fait éprouver au son nous sont inconnues.

L'organe de l'ouie acquiert ordinairement par l'habitude, une sensibilité telle qu'il distingue la différence la plus légère entre l'acuité de deux sons ; il exige nécessairement que les sons successifs qui forment un chant procédent suivant un certain ordre d'acuité ; qu'ils se terminent par un son ayant avec le premier un certain rapport ; et que les sons intermédiaires aient aussi entre eux un rapport d'acuité déterminé. Si l'on consulte la série des sons depuis le premier son appréciable à l'oreille, on formera une suite de sons tels que, le premier étant rendu en même temps que le 8me., ces deux sons se confondront de manière que l'oreille n'en distinguera plus qu'un seul. Il en sera de même du 2me. et du 9me., du 3me. et du 10me., &c. Il résulte de là que la série de ces sons forme une suite de périodes ayant chacune 7 sons ; périodes qui ne sont pas parfaitement identiques, mais qui, lorsqu'elles arrivent en même temps, se confondent comme si elles l'étaient. Chacune de ces périodes, comprenant l'*ut* de la période suivante, porte le nom d'*octave*.

Les sons co-existants qui flattent l'oreille ont reçu le nom d'*accord* ; ceux qui ne produisent qu'une sensation pénible portent le nom de *discordance* ; l'accord le plus parfait est l'octave ; il résulte de la co-existance d'un son avec le 8me. en-dessus ou en-dessous dans l'échelle harmonique. Ensuite viennent les accords de *tierce* et de *quinte* qui résultent de la co-existance d'un son avec le troisième ou le cinquième en-desus ou en-dessous dans l'échelle harmonique. L'instrument le plus simple pour déterminer les rapports de vitesses des vibrations des corps sonores est le *sonomètre* ou *monocorde*. Il est formé d'une corde de métal ou de boyau cylindrique homogène, tendue par ses deux extrémités sur une caisse vide en bois sec. Si la corde est toujours soumise à la même tension et qu'on la mette en vibration, on trouvera que la vitesse des vibrations est en raison inverse de la longueur de la corde, c'est-à-dire que, plus vous racourcirez la corde au moyen d'un chevalet placé successivement à ses différents points, plus les vibrations seront rapides. Ainsi on a trouvé que si l'on divisait par 2 la longueur de la corde, il fallait multiplier par deux le nombre des vibrations ; que si l'on divisait par 4 la longueur de la corde, il fallait multiplier par 4 le nombre des vibrations dans le même temps ; et c'est ainsi que, en prenant 1 pour la longueur totale de la corde, on a trouvé les rapports correspondants des longueurs des cordes aux nombres des vibrations des notes de la gamme, n'importe pour quel octave.

Noms des notes en allemand et en anglais,	C.	D.	E.	F.	G.	A.	B.	C.
Noms français,	ut,	ré,	mi,	fa,	sol,	là,	si,	ut.
Longueurs correspondantes des cordes,	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{2}$
Nombre des vibrations dans le même temps.	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{16}{9}$	2

On trouvera toujours dans les octaves suivants les longueurs des cordes et les nombres correspondants des vibrations, en divisant par 2 les longueurs de la corde, et en multipliant par 2 le nombre des vibrations ; ou si l'on multiplie par 2 la longueur des cordes, on divisera par 2 le nombre des vibrations.

Mais il faut remarquer que ces nombres ne sont que des rapports relatifs des longueurs des cordes et des nombres des vibrations. Pour trouver les nombres absolus, on tend une corde assez longue pour que l'on puisse compter le nombre des vibrations, et en racourcissant la corde, sans changer sa tenison, on lui fait rendre un son de l'échelle diatonique. Alors l'on multiplie le nombre de vibrations que l'on a obtenu dans le premier cas par le nombre qui exprime la longueur de la corde. Si c'est *ré*, par exemple, ce sera par 8, divisé par le nombre qui exprime le rapport du nombre des vibrations pour cette longueur de la corde, ce sera donc par 9 pour *ré*. Mais on obtient des résultats beaucoup plus certains au moyen de la Syrène de Cagniard Delatour, qui porte le nom de celui qui l'a inventée. C'est au moyen de cette machine que l'on a trouvé que le son le plus grave que l'on puisse apprécier est donné par un corps sonore fesant 32 vibrations par seconde ; que le son perceptible le plus aigu est de 16384 vibrations par seconde ; et que l'*ut* le plus grave du piano et du violon celle, est d'environ 128 vibrations par seconde. On a déduit de là que les

limites extrêmes de la voix des hommes sont de 192 vibrations pour le son le plus grave et de 633 pour le son le plus aigu ; celles des femmes, de 576 à 1620.

Des instruments à vent. Tous les *instruments à vent* sont des tuyaux ouverts par les deux bouts ou fermés par un seul. Dans un instrument ce n'est pas le tuyau lui-même, c'est l'air qu'il renferme qui est le corps sonore ; car, quelque soit la matière des tuyaux, pourvu que la longueur et le diamètre soient les mêmes, on aura toujours le même degré de gravité, seulement avec un changement de timbre. Chacun de ces instruments a un son fondamental, et lorsque la longueur du tuyau demeure la même, les sons voisins du son fondamental sont très-éloignés les uns des autres, et c'est seulement dans les tons très-élevés que l'on peut obtenir les notes consécutives de la gamme, ainsi que les sons intermédiaires ; c'est ce qui a lieu pour la trompette. Mais pour les autres instruments on obtient les sons consécutifs à partir du son fondamental, 1o. en allongeant ou en racourcissant le tuyau, comme dans la trombone ; 2o. en produisant le même effet au moyen de trous latéraux, comme dans la flûte, la clarinette, &c.; 3o. en modifiant l'ouverture du tuyau avec la main, comme dans le cor.

Cornets acoustiques et porte-voix. Les *cornets acoustiques* sont des tuyaux coniques contournés, dont les personnes qui ont l'ouie dure se servent pour entendre ; elles en placent l'extrémité dans l'oreille. Le porte-voix est formé d'un cône droit évasé ; lorsqu'on parle au sommet du cône, le son se propage dans la direction de son axe, avec une intensité beaucoup plus grande que dans tout autre direction. On se sert de cet instrument pour se faire entendre à une grande distance, pour le commandement des vaisseaux, ou lorsque deux vaisseaux sur la mer sont éloignés l'un de l'autre.

Organe de l'ouie. Chez l'homme, l'organe de l'*ouie* se compose d'un appareil extérieur nommé pavillon, formé d'une membrane épaisse qui paraît destinée à concentrer les ondes sonores vers un canal cylindrique qui s'enfonce dans la tête. Ce canal appelé *conduit auditif*, est garni intérieurement de poils et d'une matière visqueuse qui en défendent l'accès aux corps étrangers.

Le *Conduit auditif* est fermé par une membrane mince, sèche et tendue, la membrane du *tympan*, qui sépare la partie intérieure de la partie extérieure de l'appareil. Derrière cette membrane se trouve une cavité que l'on nomme caisse du tympan, qui communique avec le gosier par un canal. Contre la paroi de cette caisse opposée à la membrane du tympan, il existe deux ouvertures fermées par des membranes minces : l'une s'appelle *fenêtre ovale* et l'autre *fenêtre ronde*. Une chaîne formée par quatre petits osselets est fixée par ses extrémités à la membrane du tympan et à celle de la fenêtre ovale. Derrière la membrane de la fenêtre ovale s'ouvre un canal osseux, contourné en spirale, que l'on appelle *Limaçon* ; il communique avec une cavité plus grande appelée *vestibule*, qui vient aboutir derrière la membrane de la fenêtre ronde ; dans le vestibule aboutissent trois canaux semi-circulaires. L'ensemble du limaçon, du vestibule et des canaux, porte le nom de *labyrinthe* ; le labyrinthe est tapissé intérieurement d'une membrane très-mince, et rempli d'un liquide dans lequel vient s'épanouir le *nerf acoustique*.

Le pavillon, par sa forme évasée, sert comme de cornet acoustique à concentrer les ondes sonores ; elles vont frapper la membrane du tympan, qui est vraisemblablement destinée à les transmettre à l'intérieur, soit par la chaîne des osselets, qui est, par rapport aux deux membranes du tympan et de la fenêtre ovale, comme l'ame d'un violon est aux deux tables correspondantes, soit par l'air renfermé dans la caisse. Cependant cette membrane du tympan n'est pas essentielle à l'audition, puisque des personnes chez qui elle avait été déchirée, et chez qui la chaîne des osselets était tombée, ne tenant que par une de ses extrémités à la membrane de la fenêtre ovale, n'ont pas éprouvé d'altération sensible dans la perception des sons. La chaîne des osselets paraît aussi destinée à donner plus ou moins de tension à la membrane du tympan, afin de diminuer ou d'augmenter l'amplitude des vibrations ; cette membrane vibre d'autant plus qu'elle est plus tendue. La tension de la membrane du tympan a aussi une grande influence sur les limites des sons perceptibles ; si elle était un peu plus tendue, nous ne pourrions entendre que des sons plus élevés.

La caisse du tympan sert probablement à entretenir, près des membranes du labyrinthe et de la paroi intérieure de la membrane du tympan, un air dont les propriétés physiques soient constantes, afin de conserver leur élasticité dans le même état.

Le *conduit guttural* ou *tube d'Eustache* paraît destiné à renouveler l'air de la caisse du tympan ; cette partie de l'appareil est d'une nécessité si absolue que, lorsqu'elle vient à se boucher, la surdité s'en suit toujours. Les deux membranes qui ferment le labyrinthe paraissent destinées à entrer en vibration pour transmettre ce mouvement vibratoire au liquide du labyrinthe, et de là au nerf acoustique, qui le transmet au cerveau où se fait la sensation. Ces deux membranes, le nerf acoustique et le liquide dans lequel il s'épanouit, sont indispensables à l'audition.

Organe de la voix. Dans l'homme, l'appareil de la voix se compose 1o. des *poumons*, dont les cavités renferment de l'air que des muscles puissants, les muscles de l'expiration ; expulsent à chaque expiration ; 2o. d'un canal cylindrique situé à l'extrémité supérieure des poumons, et qui sert de conduit à l'air qui en est chassé ; la partie inférieure de ce canal, qui touche immédiatement aux poumons, porte le nom de *trachée-artère*, et la partie supérieure, celui de *larynx*. La trachée-artère se divise en deux branches qui portent le nom de *bronches*, et qui communiquent directement avec les poumons ; 3o. d'un appareil, qui porte le nom de *glotte*, situé à l'extrémité supérieure du larynx. Cet appareil se compose de deux lames rectangulaires contractiles et élastiques, fixées par leurs bases contre les parois du larynx ; la figure 38 présente une coupe du *larynx* dans le sens de sa longueur ; A B C D sont les membranes de la glotte ; 4o. d'une membrane plane élastique qui, fixée par sa base contre les parois supérieures du larynx, peut prendre dans ce canal toutes les inclinaisons possibles, et que l'on désigne sous le nom d'*épiglotte* ; 5o. enfin la dernière partie de l'organe vocal se compose du *gosier*, de la *bouche* et des *fosses nasales*.

L'organe de la voix a été successivement assimilé à un instrument à cordes et à anche libre ; mais aucune de ces explications n'est satisfaisante. L'explication donnée par Mr. Savard en 1825 des fonctions de cette organe paraît infiniment plus probable, en assimilant la voix de l'homme au petit soufflet dont se servent les chasseurs pour imiter la voix de certains oiseaux. La figure 39 représente un de ces appareils dans le sens de sa longueur. Si l'on place entre les lèvres et les dents cet instrument dont les deux tables sont percées de deux trous correspondants, et que l'on aspire, on en tire plusieurs sons. En fixant cet appareil sur un emporte-vent, l'on peut en tirer tous les sons compris entre une octave et demie et deux octaves ; et même il paraît qu'en modérant convenablement le son ou en lui donnant une vitesse suffisante, il n'y a pas de limite pour l'acuité ou la gravité des sons que l'on peut obtenir. Mais pour un même appareil il y a toujours un son qui sort plus facilement que les autres. Le diamètre seul des orifices a une influence sur la gravité ou l'acuité des sons qui se produisent avec la même vitesse de vent.

La ressemblance de cet appareil avec l'organe de la voix, surtout celui de la figure 40, ne laisse aucun doute que le mode de formation de la voix humaine ne soit le même que celui de la formation du son dans ces petits instruments.

Les observations faites sur les tuyaux membraneux permettent de concevoir comment la colonne d'air qui s'élève au-dessus de la glotte, quoique d'une longueur constante, peut cependant vibrer à l'unisson, à cause de l'élasticité variable des parois du larynx qui peuvent recevoir tous les degrés de tension, d'autant plus que les lèvres, en se rapprochant ou s'écartant plus ou moins, transforment à volonté le tuyau vocal en un tuyau tantôt ouvert et tantôt fermé.

Le gosier, la bouche et les fosses nasales, qui forment le tuyau d'écoulement de l'air, ont beaucoup d'influence sur le timbre de la voix. Si les fosses nasales se bouchent de manière que l'air n'y puisse plus passer, la voix prend un timbre particulier, et l'on dit que l'on parle du nez ; expression impropre, puisque c'est alors seulement que l'on ne parle pas du nez. Pour s'en convaincre, il suffit de comprimer les narines avec les doigts de manière à les fermer, la voix prend à l'instant le timbre en question.

L'organe de la voix chez les animaux est disposé de la même manière que dans l'homme ; aussi il n'y a que les animaux pourvus de poumons qui aient une véritable voix. La principale différence que l'on rencontre consiste dans la position et la forme de la glotte. Dans les oiseaux, elle est placée à la partie inférieure de la tranchée artère, presque à l'issue des poumons ; c'est pourquoi les oiseaux criards, à qui on a coupé le cou, même assez loin de la tête, peuvent continuer à crier. Dans les reptiles la glotte est située à l'extrémité imférieure du canal.

FIN DES CORPS PONDÉRABLES.

FLUIDES IMPONDERABLES.

Un grand nombre de phénomènes à conduit à admettre l'existence de plusieurs fluides d'une subtilité extrême qui pénètrent tous les corps et qui sont entièrement dépourvus de pesanteur. Les *fluides impondérables* admis jusqu'ici sont au nombre de cinq, savoir : le *calorique*, les fluides *électrique*, *magnétique*, *galvanique*, et la *lumière*.

Il est à présumer que ces fluides ne sont qu'une seule et même chose, et qu'ils ne sont que des manières d'être d'un seul et même fluide ; mais comme ce ne sont encore là que des conjectures probables, nous les admettons tous.

DU CALORIQUE.

La cause inconnue qui produit en nous la sensation que nous appelons chaleur a reçu le nom de *calorique*. On l'appelle aussi simplement *chaleur*.

Pour constater que la chaleur est sans pesanteur, il suffit de peser successivement le même corps chaud et froid ; on ne trouve pas de différence appréciable avec nos instruments les plus délicats. La *température* d'un corps est sa chaleur sensible ; elle dépend de la quantité de chaleur qui se dégage à cet instant du corps pour se porter dans l'espace ou sur les corps environnants. L'impression produite sur nos organes et qui sert de définition à la température, c'est-à-dire, par laquelle nous désignons ce que nous appelons chaud et froid, ne peut pas en être une mesure, parce que les sensations du froid et du chaud n'ont rien d'absolu en elles-mêmes, et qu'elles sont toujours le résultat de la comparaison avec la sensation précédente.

Nous avons déjà dit que le fluide de la chaleur augmente le volume des corps ; de tous les effets produits par la chaleur, celui qui a paru le plus propre à mesurer l'intensité de la chaleur, est cette dilatation que tous les corps éprouvent, par l'accumulation du calorique. C'est aussi sur cet effet que sont fondés tous les instruments que l'on appelle thermomètres. Ces instruments sont formés d'un tube de verre droit, très-capillaire, bien cylindrique, fermé par sa partie supérieure, et terminé à sa partie inférieure par un réservoir sphérique. Le réservoir et une partie du tube sont remplis de mercure, d'alcool, ou de tout autre liquide. Lorsque l'instrument s'échauffe, le liquide se dilate et monte dans le tube, il descend au centraire, quand l'instrument se refroidit. Pour graduer cet instrument, on le plonge dans de la glace fondante, et l'on marque *o* à l'endroit ou s'est arrêté le mercure. Pour avoir l'autre extrémité de l'échelle, on expose le thermomètre à la surface d'une eau en ébullition, et l'on marque l'endroit où s'est arrêté le mercure dans son ascension. L'on divise ensuite l'espace intermédiaire

en 80 ou 100 parties égales, suivant que l'on veut avoir l'échelle de rhéaumur ou l'échelle contigrade. L'échelle est toujours prolongée au-delà de 100 degrés, et au-dessous de zéro pour mesurer les températures supérieures et inférieures. Dans la construction de ces instruments le mercure est préféré à tous les autres liquides.

Pyromètres. On désigne sous le nom de *pyromètres* les instruments destinés à mesurer les hautes températures des corps. Le plus en usage est le pyromètre de Wedgewood. Il se compose d'une plaque métallique et de deux règles de cuivre ou de laiton légèrement inclinées l'une vers l'autre; sur la longueur totale l'on fait 240 divisions, que l'on appelle degrés du pyromètre de Wedgewood. Si l'on veut au moyen de cet instrument mesurer la température d'un foyer, l'on prend un tourteau cylindrique d'argile pétrie, que l'on a fait sécher à la température de l'eau bouillante, et qui, placé dans la rainure formée par les deux règles, s'arrête à la division *o*. L'on place le tourteau d'argile dans le foyer dont on veut connaître la température; l'argile éprouve un retrait par la chaleur, qui angmente régulièrement avec la température, et lorsqu'elle est refroidie elle ne revient pas à ses dimansions primitives. On engage le cylindre dans la rainure, et le degré jusqu'où il pénètre indique la température du foyer en question. Nous n'avons aucun moyen de comparer les degrés du pyromètre avec ceux du thermomètre; et lorsque nous disons que chaque degré du pyromètre équivaut à 72 degrés du thermomètre, nous obéissons plutôt à une convention qu'à la vérité.

La raison pour laquelle l'on se sert de mercure plutôt que d'autres liquides dans la confection des thermomètres, c'est qu'il est à peu près le seul liquide qui se dilate régulièrement depuis son degré d'ébullition jusqu'à une petite distance de son degré de congellation. Pour les autres liquides, leur dilatation est beaucoup plus grande dans les degrés élevés que dans les degrés inférieurs; l'eau, par exemple, se dilate beaucoup moins de 5°. à 10°. que de 50°. à 55°.

CALORIQUE SENSIBLE.

On entend par calorique sensible celui qui produit sur nos organes les effets connus de chaleur et de froid, et qui peuvent se mesurer par le thermomètre.

Rayonnement. Lorsqu'un corps est placé dans l'air ou dans un fluide quelconque, liquide ou gazeux, à une plus basse température que la sienne, il finit toujours par atteindre exactement la température du milieu * dans lequel il est plongé.

Le corps se refroidit encore lorsqu'il est placé dans une enceinte vide, à une température inférieure à la sienne, et finit toujours par se mettre en équilibre avec la température de l'enceinte. Ainsi, les corps en se refroidissant, cèdent une partie de leur calorique non seulement aux corps qui sont immédiatement en contact avec eux, mais encore ils lancent du calorique dans toutes les directions; c'est ce calorique transmis à distance que l'on désigne sous le nom de calorique rayonnant.

* Le mot *milieu* signifie la même chose que fluide, qui peut-être liquide ou gazeux.

Le calorique rayonnant se transmet en ligne droite, et se réfléchit contre les surfaces polies, en fesant l'angle de réflection égal à l'angle d'*incidence*; propriété que l'on reverra dans la lumière. On entend par angle d'*incidence* l'angle formé par l'inclinaison du rayon calorifique qui tombe sur la surface réfléchissante et par une ligne perpendiculaire à cette surface au point où tombe le rayon, et par angle de réflexion l'angle formé par la perpendiculaire dont nous venons de parler et par l'inlinaison du rayon réfléchi. On peut se servir de cette propriété pour concentrer en un seul point un très-grand nombre de rayons calorifiques sans employer l'action directe d'un foyer. C'est en renvoyant la chaleur du soleil sur un même point par un grand nombre de miroirs convenablement disposés, que l'on prétend qu'Archimède, cet illustre savant de l'antiquité, brûlait les vaisseaux romains qui assiégaient Syracuse sa patrie.

Les expériences sur le rayonnement du calorique se font d'une manière beaucoup plus décisive au moyen de deux miroirs paraboliques. Ces deux miroirs, MN, M'N', sont placés en regard l'un de l'autre, de manière que leurs axes se confondent; si l'on place un corps chaud, un boulet rouge, par exemple, au foyer F de l'un des miroirs, et que l'on place un thermomètre au foyer F' de l'autre miroir, on le voit baisser rapidement, même lorsque l'on a placé un petit écran dans la ligne de l'axe, pour intercepter le rayonnement direct. Les rayons calorifiques, qui s'échapperont du corps rayonnant, se réfléchiront d'abord sur le miroir dont ce corps occupe le foyer, il y aura donc un faisseau de rayons parallèles à l'axe XV qui, reçus par l'autre miroir, se réfléchiront au foyer de ce miroir. Par le moyen d'un boulet incandescent le rayonnement est sensible à une grande distance, et l'on peut enflammer de l'amadou a 15 ou 16 pieds du foyer de chaleur.

Les lois du rayonnement du calorique se manifestent également dans le vide.

Vitesse du calorique rayonnant. On a essayé de mesurer la vitesse du calorique; la plus grande distance à laquelle on ait fait l'expérience était de plus de 75 pieds, et cependant on a pu distinguer d'intervalle entre le moment du départ des rayons et leur arrivée sur le corps soumis à l'expérience. Il résulte de là que la transmission de la chaleur se fait avec une grande rapidité. Il est même probable que sa marche est aussi rapide que celle de la lumière, puisque le soleil nous les envoie unies inséparablement; or la lumière met 8 minutes et 13 secondes à venir du soleil, et cette distance est d'environ 34 millions et demi. On ne pourrait cependant pas affirmer qne le calorique privé de lumière se meut avec la même vitesse, bien que par les expériences que nous venons d'indiquer, il se meuve avec une très-grande rapidité.

Le calorique traverse l'air et les gaz sans s'affaiblir sensiblement, puisque les rayons solaires échauffent bien plus rapidement et bien plus fortement les corps solides et les liquides sur lesquels ils frappent que l'air qu'ils traversent, mais il traverse encore facilement les corps solides transparents, tels que le verre, le cristal de roche, &c. qui laissent passer une partie de la chaleur d'autant plus grande que la température du corps rayonnant est plus élevée. Quand la source de chaleur n'est pas supérieure à celle de l'eau bouillante, les rayons calorifiques qui en

émanent se transmettent très-peu ou pas du tout à travers une lame de verre, quelle que mince qu'elle soit; mais au-dessus de cette température, la quantité de chaleur à travers un même écran, augmente dans une plus grande proportion à mesure que la température de la source est plus élevée. Par exemple, un écran de verre arrêtant les 7-8 du calorique émis par un corps à 180 degrés, n'arrête que les 6-7 du calorique émis par un corps à 400 degrés, et la moitié seulement du calorique émis par la flamme d'une lampe.

On a observé, que la chaleur qui a traversé une lame de verre, éprouve, dans le passage à travers une seconde lame, une perte proportionnellement beaucoup moindre. Par exemple, en mettant un écran entre un corps chaud et un thermomètre, le rapport entre la chaleur transmise et la chaleur totale était un 1-8, tandisque si l'on interposait un second écran, ce rapport devenait seulement 1-16.

Refraction. Le calorique rayonnant se refracte comme la lumière, c'est-à-dire que, quand il traverse un corps dans des directions qui ne sont pas perpendiculaires aux surfaces de ce corps, les rayons sont déviés plus ou moins de leur direction. C'est ce que l'on remarque en interposant une simple lorgnette entre de l'amadou ou tout autre corps un peu combustible et le soleil. Au moyen d'un système de lentilles ou de verres convenablement disposés on est parvenu à obtenir un feu aussi ardent ou plus ardent même que celui obtenu par les combustions les plus énergiques. On a prouvé que les mêmes lois existent pour le calorique obscar, mais elles ne produisent pas des effets aussi puissants.

Intensité de la chaleur. L'intensité de la chaleur décroît dans le même rapport que la distance augmente, c'est-à-dire, en raison inverse du carré de la distance. Cet effet est dû à ce que, à une distance double, les rayons calorifiques divergeant toujours depuis leur origine, iront se répandre sur une surface quatre fois plus grande, puisque 4 est le carré de 2; à ce que à une distance triple ils frappèront une surface 9 plus grande, puisque 9 est le carré de 3. Or il est clair que si un certain nombre de rayons calorifiques frappait une surface d'un pied carré, ce même nombre de rayons, frappant ensuite une surface 9 fois plus grande, chacun des points de cette dernière surface sera 9 fois moins échauffé, puisqu'il sera lancé à chacun de ces points 9 fois moins de rayons calorifiques.

Pouvoir réflecteur. Les corps frappés par la chaleur ont le pouvoir d'en réfléchir une partie; c'est ce que l'on appelle leur *pouvoir réflecteur.* Tous les corps ne l'ont pas au même degré. Il dépend et de la nature de ces corps et du poli de leurs surfaces. Voici un tableau du pouvoir réflecteur de quelques corps :—

Cuivre jaune,	100	Etain mouillé de mercure,	10
Argent,	90	Verre,	10
Etain en feuilles,	80	Verre mouillé,	5
Acier,	70	Noir de fumée,	0
Plomb,	60		

Pouvoir émissif. Nous entendons par *pouvoir émissif* la faculté qu'ont les corps de transmettre plus ou moins rapidement leur chaleur aux corps environnants. On a remarqué que le pouvoir émissif d'un corps est toujours en sens inverse de son pouvoir réfléchissant; c'est-

à-dire que, plus un corps est poli et moins il émet de chaleur, et que les nombres qui expriment les pouvoirs réfléchissants des corps les plus polis sont les mêmes ou à peu près les mêmes qui expriment les pouvoirs émissifs des corps les moins polis, comme nous allons le voir par la comparaison de cette table avec la table précédente :—

Noir de fumée,	100	Glace,	85
Eau,	100	Mercure,	20
Papier à écrire,	93	Plomb brillant,	19
Verre ordinaire,	90	Etain, argent, cuivre, or,	12
Encre de Chine,	88		

Pouvoir absorbant. On désigne sous le nom de *pouvoir absorbant* la faculté qu'ont les corps de s'approprier une partie de la chaleur qui leur est envoyée par d'autres corps. On a remarqué par l'expérience que le pouvoir absorbant des corps est dans le même rapport que leur pouvoir émissif, c'est-à-dire que, si deux corps sont par rapport à leur pouvoir émissif dans un rapport de 100 à 90, ils auront aussi un rapport de 100 à 90 pour leur pouvoir absorbant. On sait aussi que plus un corps est réflecteur, moins il a de pouvoir absorbant. On augmente le pouvoir absorbant d'un corps poli en fesant des raies sur sa surface, de même que l'on augmente de cette manière son pouvoir émissif.

Propagation de la chaleur à travers les corps liquides. Les rayons calorifiques, qui se présentent à la surface des liquides, sont réfléchis ou absorbés par une couche extrêmement mince de leur surface dont ils élèvent la température; et par un rayonnement qui a lieu de molécule à molécule, le calorique, reçu et absorbé à la surface, se transmet de là dans l'intérieur. Mais le transport de la chaleur dans les liquides se fait de la même manière que dans les gaz, c'est-à-dire que, les couches plus échauffées, devenant moins denses en se dilatant, s'élèvent à la surface, et ainsi de suite jusqu'à ce que toute la masse soit échauffée.

Propagation de la chaleur à travers les corps solides. Les corps solides, de même que les corps liquides, arrêtent à leur surface les rayons de chaleur; de même aussi une partie de ces rayons est réfléchie, et l'autre absorbée par une couche extrêmement mince de la surface. Mais, comme les molécules d'un corps solides sont parfaitement immobiles, le transport du calorique se fait nécessairement de molécule à molécule.

De la conductibilité. On entend par *conductibilité* la faculté qu'ont les corps d'absorber de la chaleur et de la transmettre dans leur masse. Les corps solides ont une plus grande faculté conductrice que les liquides; mais elle est beaucoup plus grande dans certains corps solides que dans d'autres. Tout le monde sait en effet que l'on peut tenir impunément une barre de verre à une très-petite distance du point où elle est en fusion, tandisque, une barre de fer, échauffée au rouge à l'une de ses extrémités, c'est à peine, à une grande distance, si la main pourra en soutenir la température.

On peut prouver d'une manière bien évidente à l'œil même cette inégalité de faculté conductrice, au moyen de l'appareil suivant. Une boite rectangulaire en fer blanc est garnie (fig: 41.) d'un grand nombre

de tubulures dans lesquelles on a mastiqué des cylindres *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, de même longueur et de même diamètre. On les plonge tous ensemble dans de la cire fondue, et on les retire promptement ; cette couche de cire devient bientôt solide par le refroidissement. Alors on remplit le vase M N d'huile bouillante ; la chaleur se propage dans les divers cylindres, et l'on juge, par la rapidité de la fusion de la cire sur chacun d'eux, de la rapidité avec laquelle ils propagent la chaleur. Par ce procédé l'on trouve que l'or est le meilleur conducteur du calorique, ensuite l'argent. Viennent après le cuivre, le fer, le zinc, l'étain et le plantine à peu près au même degré, le plomb ; le marbre, le verre, la porceline, la terre des fourneaux sont inférieurs aux métaux. Mais les charbons et les bois secs sont encore plus mauvais conducteurs du calorique. En général, l'on a remarqué que les plus mauvais conducteurs sont les substances composées de filaments très-fins qui se touchent par très-peu de points, telle que le coton, la laine en flocons, le duvet, le son, la paille, la ouate, la fourure des animaux, &c. Voilà pourquoi ces substances, mais principalement les fourures nous préservent-elles tant du froid, uniquement parcequ'elles empêchent le rayonnement à l'extérieur, et qu'elles conservent au corps humain la chaleur qu'il émet, et un atmosphère calorifique constant.

CALORIQUE LATENT.

Lorsque le calorique pénètre un corps, il produit deux effets distincts ; il en élève la température et il en écarte les molécules. Nous pouvons considérer ces deux effets comme provenant chacun d'une partie du calorique reçu par le corps dont l'une produirait à elle-seule l'élévation de température, et l'autre les variations de distance des molécules. Nous avons désigné la première portion sous le nom de calorique sensible, nous donnons à la dernière le nom de *calorique latent*. Par exemple, lorsque l'on chauffe un corps solide, il se dilate, mais reste solide jusqu'à ce qu'un thermomètre mis en contact avec lui ait atteint un certain degré qui est toujours le même pour le même corps. Le thermomètre ne monte ni ne baisse pendant toute la durée de la fusion, quelqu'activité que l'on donne au foyer. Ainsi toute la chaleur est employée à faire passer le corps de l'état solide à l'état liquide, et c'est ce calorique qui n'exerce pas d'action sensible sur le thermomètre que l'on désigne sous le nom de calorique latent. Ce calorique latent est quelquefois très-considérable. En mélangeant 2 livres 3 onces 4 dragmes et 81e d'eau à 75 degrés centigrades, avec 2 livres 3 onces 4 dragmes et 81e de glace à zéro, la glace fond entièrement, mais les 4 livres 6 onces 9 dragmes et 62e d'eau qu'on obtient sont encore à zéro. Ainsi, la chaleur, employée à faire fondre une certaine quantité de glace est la même que celle qui est nécessaire pour élever de 0°. à 75 dégrés la même quantité d'eau.

Dilatation des corps. Tous les corps, comme nous l'avons vu au commencement du calorique, se dilatent par la chaleur, et se contractent par le refroidissement ; et s'il existe des corps qui semblent se soustraire à cette loi générale de la nature, cela tient à quelques circonstances particulières. Ces exceptions n'ont lieu que quand un corps

change d'état; c'est ainsi, par exemple, que l'eau augmente de volume lorsqu'elle est sur le point de se congeler. Il existe cependant un grand nombre de corps qui, bien qu'ils ne changent pas d'état apparent, diminuent de volume par la chaleur. Par exemple, le bois semble se contracter quand il fait chaud; c'est qu'il perd, par l'évaporation causée par la chaleur, l'eau qu'il renfermait dans ses pores. Il en est de même des terres et d'un grand nombre de substances organiques; la diminution de leur volume vient de ce qu'elles perdent plus d'eau par la dessication qu'elles ne gagnent en volume par la dilatation.

La dilatation des corps solides, bien que très-petite en elle-même, produit sur des barres très-longues des variations considérables auxquelles il faut nécessairement avoir égard. Par exemple, les tuyaux de fonte destinés à la conduite des eaux éprouvent, par les variations de température des saisons, des variations de longueur souvent tellement considérables qu'ils se briseraient infailliblement, si on n'avait pourvu à cet inconvénient; car la force avec laquelle les corps solides tendent à changer de volume par les variations de température est très-considérable. Pour obvier à cet inconvénient, les cylindres s'emboitent à frottement les uns dans les autres, de manière à ce qu'il y ait le jeu nécessaire pour que les variations de température n'aient pas d'autre effet que de faire entrer ou sortir plus ou moins les tuyaux les uns dans les autres.

Cette effet de dilatation et de contraction se fait sentir aussi dans les horloges à pendule dont la tige, étant plus longue, va moins vite quand la température est plus élevée, et étant plus courte, va plus vite quand la température est plus basse. Cette inégalité d'indication des pendules n'est pas d'un grand inconvénient dans les besoins journaliers, et ne peut être nuisible qu'aux observations astronomiques. Le même effet se reproduit dans les montres dont le régulateur est un balancier; mais on est parvenu à corriger ce défaut par la propriété même qu'ont les métaux de se dilater inégalement par la chaleur, et le célèbre horloger, Mr. Breguet, à construit des chronomètres dont le cours, comparé à celui des étoiles, n'a pas donné dans une année entière une variation diurne de plus d'une seconde.

C'est par le moyen de la dilatation par la chaleur que le forgeron peut étendre son bendage sur une roue dont la circonférence est un peu plus grande que celle du bendage.

Les corps, en se dilatant et en se contractant, exercent des efforts prodigieux. C'est ainsi que Mr. Molard, ancien directeur du musée des arts et métiers, à fait une heureuse application de cette force. Au Conservatoire des Arts et Métiers, deux murailles latérales d'une galerie s'étaient inclinées sous le poids énorme d'un plafond qu'elles soutenaient, Mr. Molard les fit traverser par des barres de fer terminées au dehors par de forts boulats. Alors on chauffait la moitié des barres, et comme elles s'allongeaient par la chaleur, on serrait les écroux, puis on fesait chauffer les autres barres au moyen de lampes, et on serrait les écroux de la même manière. Par ce moyen Mr. Molard fit disparaître toute l'inclinaison des murailles. Quand à la dilatation des liquides, nous avons pu la remarquer dans la construction du thermomètre, puisque comme nous l'avons vu, c'est sur ce principe que sont fondés ces instruments.

Les gaz se dilatent par la chaleur de la même manière que les solides et les liquides, mais d'une plus grande quantité. Lorsque l'air, par exemple, est réchauffé, cette partie qui est réchauffée se dilate, et étant devenue par là plus légère, elle s'élève et est remplacée par la couche supérieure. C'est à cet effet que sont dus les deux courants contraires que l'on observe en plaçant tour-à-tour une chandelle au haut et au bas de la porte ouverte d'un appartement que l'on chauffe. Si vous placez la chandelle au bas de la porte, la flamme est repoussée à l'intérieur par le courant d'air froid qui entre ; si au contraire, vous la placez au haut de la porte, elle sera repoussée à l'extérieur par le courant dilaté d'air chaud qui tend à sortir.

Lorsque l'on expose à l'air de l'eau placée dans un vase ouvert, on en voit le volume diminuer peu à peu, et le liquide disparaître complètement après quelques jours. Cet effet est beaucoup plus rapide, lorsque l'on fait bouillir un liquide par l'action du feu. Le liquide prend alors la forme et l'apparence de l'air, et l'on dit qu'il se réduit en vapeur. On dit qu'un corps est plus ou moins *volatil*, lorsqu'il exige une température moindre ou plus grande pour se réduire en vapeur. Ce phénomène se produit aussi bien dans le vide qu'au contact de l'air. Cette propriété des liquides de se transformer en vapeur n'appartient pas cependant à tous les liquides. Il y en a qui n'émettent point de vapeur, telles sont les huiles grasses ; d'autres ne semblent donner naissance à des vapeurs qu'au-dessus d'une certaine température, tels sont, par exemple, le mercure, l'acide sulfurique. Mais ces exceptions sont peu nombreuses.

Lorsque l'air est tranquille, l'évaporation se fait très-lentement ; mais lorsque l'air est agité, l'évaporation est rapide : c'est ce qui arrive dans les tempêtes où les vents violents dessèchent rapidement la surface de la terre, parceque les couches d'air se succèdent et se saturent tour-à-tour de vapeurs. La tension ou force élastique d'une vapeur varie avec la température, et augmente plus rapidement que le nombre des degrés indiqué par le thermomètre.

Loi de Dalton. A la température de l'ébullition d'un liquide quelconque, la tension de la vapeur est égale à la pression de l'atmosphère ; car si elle était plus faible, elle ne pourrait vaincre la pression atmosphérique pour parvenir à la surface du liquide, et si elle était plus forte rien n'empêcherait qu'elle ne fut formée plutôt. Ainsi, à la température de l'ébullition de tous les liquides, leurs vapeurs ont la même tension. En opérant sur un grand nombre de liquides différents, et en fesant varier pour chacun d'eux la température dans toutes les limites inférieures à leur ébullition, un physicien anglais nommé Dalton à découvert que pour les liquides, à des températures également éloignées du point d'ébullition, leurs vapeurs avaient la même tension. C'est ainsi que l'alcool bouillant à 78 degrés et l'eau à 100 degrés centigrades, les forces élastiques de leurs vapeurs réciproques sont les mêmes à cette température ; la tension de la vapeur d'alcool à 76 degrés est la même que celle de la vapeur d'eau à 98 degrés.

Quoique des expériences récentes aient démontré que cette loi de Dalton n'est point rigoureuse, on peut cependant la regarder comme une approximation suffisante.

De l'Hygrométrie. Nous savons que l'eau émet de la vapeur à toutes les températures, et que cette vapeur est absorbée par l'air en d'autant plus grande quantité que la température de ce dernier est plus élevée ; l'*Hygrométrie* a pour objet la recherche des différents degrés de la vapeur d'eau absorbée par l'air ; les instruments dont on se sert pour cet objet portent le nom d'hygromètres ou d'hygroscopes. La solution de ce problême est extrêmement difficile à trouver, et n'a pas même été trouvée parfaitement ; mais on parvient à un résultat assez exact au moyen d'un hygromêtre. Le meilleur est celui que l'on appelle hygromètre de Saussure, parce que c'est lui qui l'a inventé.

Cet instrument consiste en un cadre de cuivre A B C D (fig : 41.) dans lequel un cheveu *ab* est suspendu en *a* à une petite pince que l'on peut monter ou descendre au moyen d'une vis, et fixé par son autre extrémité à un petit cylindre mobile sur son axe et garni d'une aiguille *mn* dont l'extrémité parcourt la portion du cadran PQ ; un fil, enroulé sur le cylindre et portant un petit poids *c*, sert à tendre le cheveu. Le cheveu en s'allongeant par l'humidité, et restant toujours tendu par le poids *c* fait tourner le cylindre, et l'aiguille parcourt alors un nombre de degrés proportionnel à cet allongement.

Les cheveux sont ordinairement enveloppés d'une matière grasse qui les soustrait en partie à l'action de l'humidité de l'air ; dans cet état leur allongement de l'extrême sécheresse à l'extrême humidité n'est d'environ qu'un $\frac{1}{200}$ de leur longueur ; mais lorsqu'on les a dépouillés de cette matière grasse, ils se dilatent quatre fois plus, c'est-à-dire d'environ un $\frac{1}{50}$. C'est pourquoi l'on fait bouillir les cheveux dans de l'eau un peu alcaline afin de dissoudre la matière grase qui les recouvre. Saussure les place dans un linge afin qu'ils ne se mêlent pas, et emploie de l'eau renfermant $\frac{1}{100}$ de son poids de sous-carbonate de soude.

Lorsque l'hygromètre à cheveu a été construit avec beaucoup de soin, on remarque 1o. que, placé dans les mêmes circonstances, ses indications sont toujours identiques ; 2o. que, quelle que soit la température de l'air, s'il est saturé, l'aiguille marque toujours 100°, et s'il est parfaitement sec l'aiguille s'arrête toujours à zéro. On doit conclure de là que l'action hygrométrique du cheveu est constante ; que l'effet de la température pour faire varier sa longueur est sensiblement nulle dans les limites de température de l'atmosphère ; et enfin, quelle que soit la température de l'air, pourvu qu'il soit saturé de vapeur, le cheveu s'empare toujours de la même quantité d'eau, puisqu'il s'allonge de la même quantité.

Du calorique spécifique. On admet qu'il faut toujours la même quantité de chaleur, quelle que soit la source de cette chaleur, pour élever d'un même nombre de degrés la température d'un même corps. Nous savons aussi qu'il faut toujours la même quantité de chaleur pour faire fondre une livre de glace à zéro et qu'il faut toujours aussi la même quantité de chaleur pour vaporiser une livre d'eau à 100° ; mais il faut que les masses sur lesquelles on opère soient identiques, soit par leur nature, soit par l'arrangement de leurs molécules. Il n'en est pas de même si l'on opère sur des substances différentes ayant le même poids.

Tous les corps, sous le même poids, exigent des quantités inégales de chaleur pour élever leur température d'un même nombre de degrés du thermomètre. Par exemple, la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 livre d'eau de zéro a 3 degrés serait suffisante pour élever la température d'un même poids de mercure de 6 degrés à 100 degrés. Les quantités relatives de chaleur, absorbées par un même poids des corps pour élever leur température d'un même nombre de degrés, s'appellent *caloriques spécifiques*, *chaleurs spécifiques*, ou *capacités calorifiques*. Pour mesurer les *capacités calorifiques* des corps on est convenu de les rapporter à celle de l'eau que l'on prend pour unité.

La capacité d'un corps pour la chaleur est constante, lorsque, pour la faire passer de zéro à 1 degré, par exemple, il faut autant de chaleur que pour la faire passer de 100 degrés à 101 degrés, et, en général, il faut toujours la même quantité de chaleur à toutes les températures d'un corps, pour élever cette température d'un même nombre de degrés ; on dit au contraire que la capacité calorifique de ce corps est variable, lorsque, a certaines températures du corps, il faut une plus grande quantité de chaleur, pour élever ces températures d'un même nombre de degrés qu'à d'autres températures, suivant l'indication du thermomètre.

On emploie plusieurs procédés pour parvenir à la détermination de la chaleur spécifique des corps ; mais, de tous les effets produits par la chaleur, celui qui parait le plus propre à l'objet en question est la fusion de la glace. Laplace et Lavoisier plaçaient les corps dans une boîte faite de laiton, enfermée dans deux autres boites en fer-blanc, contenant de la glace qui entourait la boite de laiton de toutes parts, et le corps dont on voulait mesurer la capacité calorifique était disposé de telle sorte que la glace ne pouvait être fondue que par le corps lui-même. Cela fait, il suffit de mesurer la quantité de glace fondue par le corps pour en pouvoir déduire la chaleur spécifique comparativement à celle de l'eau. En introduisant dans le *calorimètre* un même poids de tous les corps à la même température, les quantités calorifiques de ces corps seront proportionnelles aux quantités d'eau que l'on recueillera de la glace fondue. Mais, pour obtenir ces nombres, il n'est pas du tout nécessaire d'opérer sur des masses égales et à la même température, il suffit de connaître exactement leurs poids et leurs températures initiales, quelles qu'elles soient d'ailleurs. En effet, MM. Laplace et Lavoisier ont reconnu que la capacité calorifique des corps de zéro à 100 degrés est sensiblement constante, c'est-à-dire, qu'ils absorbent toujours la même quantité de chaleur pour élever leur température d'un même nombre de degrés du thermomètre ; par conséquent, en divisant la quantité de glace fondue par la température du corps à l'instant qu'on le place dans le calorimètre, le quotient sera la quantité de glace qui aurait été fondue par un abaissement de température de 1 degré ; et comme la quantité de chaleur abandonnée par un corps, dans un abaissement quelconque de température, est proportionnelle à sa masse, en divisant la quantité de glace fondue par le poids du corps on aura celle qui aurait été fondue par l'unité de poids. Il faut toujours, lorsque l'on opère, que la température de l'air soit de quelques degrés au-dessus de zéro. Quand aux substances liquides,

comme il est indispensable de les renfermer dans des vases, il faudra soustraire de la quantité de glace fondue la quantité qui l'a été par le refroidissement du vase : on obtiendra facilement cette dernière quantité, par une expérience dans laquelle on mettrait dans le calorimètre le vase à la température du liquide qu'on y avait introduit.

Pour déterminer la capacité calorifique des gaz on les fait passer dans un serpentin qui circule dans l'enveloppe centrale du calorimètre, et qui communique au dehors par ses deux extrémités, afin que l'on puisse établir un courant de gaz dont on déterminerait exactement la température à l'entrée et à la sortie.

Méthode des mélanges. Lorsque l'on mèle deux liquides ayant tous deux le même poids, ou lorsque l'on plonge un corps solide dans un liquide dont le poids est égal au sien, et qu'il ne se manifeste aucune action chimique, si les capacités calorifiques des deux corps sont les mêmes, la température du mélange sera une moyenne de la température des corps avant le mélange. Cette propriété est évidente, et c'est par ce moyen que l'on peut facilement vérifier que la capacité calorifique d'un même corps est constante ; car si l'on mêle deux poids égaux d'un même corps, par exemple, une livre d'eau à 20 degrés avec une livre d'eau à 50 degrés, on obtient 2 livres d'eau à la température de 35 degrés; par conséquent, la chaleur, qui s'est dégagée de la seconde masse pour passer de 50 degrés à 35 degrés, est égale à celle qui a été absorbée par la première pour passer de 20 degrés à 35 degrés; d'où il suit que l'eau absorbe la même quantité de chaleur pour passer de 20 à 35 degrés, que de 35 à 50 degrés.

Mais, si les capacités calorifiques des corps mêlés n'étaient pas égales, la température finale ne serait pas moyenne entre celle des corps mélés, et, de l'observation de cette température, on déduirait facilement le rapport des capacités calorifiques des corps mélés. Par exemple, si l'on mêle une livre d'eau à zéro avec une livre de mercure à 100 degrés, la température du mélange sera 3 degrés, par conséquent, la quantité de chaleur qui a été abandonnée par le mercure pour baisser sa température de 97 degrés à élevé le même poids d'eau de 3 degrés ; la capacité calorifique de l'eau par rapport à celle du marcure est donc comme 97 est à 3.

PHÉNOMÈNES QUI SE DÉVELOPPENT DANS LES CHANGEMENTS D'ÉTAT DES CORPS.

Passage de l'état solide à l'état liquide. Un corps solide peut passer à l'état liquide par deux causes différentes, par un foyer de chaleur ou par une action chimique. Lorsqu'une masse solide est soumise à l'influence d'un foyer de chaleur, elle s'échauffe jusqu'à la température de la fusion ; mais arrivée à ce terme sa température reste constante jusqu'à la fusion totale, parce que toute la chaleur reçue par le corps est employée à la liquéfaction, et devient latente dans le liquide formé. Mais, si la liquéfaction d'un corps avait lieu par une action chimique, il se produirait un froid plus ou moins considérable ; car un corps, pour passer à l'état liquide, absorbant beaucoup de chaleur qui devient latente, dans ce nouvel état, si un foyer de chaleur ne

fournit pas cette quantité de calorique, elle sera enlevée aux corps environnants, et, parconséquent, la température baissera. On conçoit maintenant pourquoi presque tous les sels, en se dissolvant dans l'eau, produisent du froid, et pourquoi un mélange de sel marin et de glace, corps qui, par leur action chimique, se fondent mutuellement, produit un froid si considérable; les effets de tous les mélanges frigorifiques sont fondés sur ce principe. Tous les corps ne demandent pas la même quantité de chaleur pour se fondre; les uns sont très-fusibles, c'est-à-dire, passent à l'état liquide à des températures très-faibles, comme la glace, le phosphore, le soufre, la cire, les corps gras et les résines; d'autres exigent pour se fondre une température un peu plus élevée, comme le plomb, l'étain, le zinc, et divers alliages de métaux; enfin il en est qui ne peuvent entrer en fusion que par des feux très-violents et longtemps soutenus, tels sont le fer, l'acier, l'or et le platine. Les corps qui résistent aux plus hautes températures que nous puissions produire sont appelés *infusibles*, *fixes* ou *réfractaires*; le nombre en diminue de jour en jour à mesure que les moyens de produire la chaleur augmente. Enfin, il est des substances que l'on ne peut fondre à l'air, parce qu'elles se décomposent, et que certains de leurs éléments se répandent dans l'atmosphère. Ainsi le marbre, chauffé à l'air, ne font pas, parce que l'un de ses éléments, l'acide carbonique, se répand dans l'air; il ne reste que de la chaux qui, jusqu'à présent, est infusile. Mais le marbre, enfermé dans un tube de fer bien fermé, entre en fusion et reprend sa solidité par le refroidissement.

Température de la fusion des différents corps.

Noms des substances.	Degrés du pyromètre.	Degrés centigrades.
Tungstène,	170	"
Nickel,	160	"
Fer,	130	"
Acier,	130	"
Or,	32	"
Cuivre,	27	"
Argent,	"	538
Zinc,	"	360
Plomb,	"	260
Etain,	"	210
Alliage de 3 étain et 2 plomb,	"	167,7
Soufre,	"	109
Phosphore,	"	43
Cire blanche,	"	68
Cire jaune,	"	61
Suif,	"	333
Glace,	"	0
Huile de térébantine,	"	10
Mercure,	"	39

Passage de l'état liquide à l'état solide. Ce phénomène peut avoir lieu ou par une source de froid ou par une action chimique. Dans

le premier cas, il y a permanence de température depuis le commencement de la congélation jusqu'à la solidification totale de la masse. Ainsi, par exemple, lorsque l'on place de l'eau dans une atmosphère à plusieurs degrés au-dessous de zéro, elle se congèle, mais la température de la glace est permanente tant qu'il reste encore de l'eau à congeler. Dans le second cas, il y a émission de chaleur ; ainsi, lorsque l'on jette de l'eau sur de la chaux vive, elle est solidifiée et il se développe une grande chaleur.

L'eau présente dans sa congélation différents phénomènes singuliers que nous devons rapporter. L'eau, dont la température s'abaisse, se contracte continuellement jusqu'à 4 degrés au-dessus de zéro, et depuis ce point, elle se dilate continuellement jusqu'à son terme de congélation, époque à laquelle elle prend subitement un grand accroissement de volume ; cet accroissement est de 1-7 de son volume à zéro liquide. C'est cette augmentation de volume qui fait que la glace s'élève au-dessus du niveau de l'eau. La force avec laquelle l'eau congélée tend à augmenter de volume est très-considérable ; aussi, lorsque les vases, dans lesquels la congélation a lieu, sont fermés ou seulement terminés par un orifice étroit, ils sont brisés, et cette force d'expansion est capable de briser les enveloppes les plus résistantes, tels que les canons de fer.

C'est à l'augmentation de volume de l'eau dans la congélation qu'est due l'action de la gelée sur les plantes ; lorsque le liquide renfermé dans les tubes capillaires dont elles sont formées vient a se congeler, l'augmentation de volume brise ces enveloppes et détruit complètement leur système organique.

C'est encore à l'expansion de l'eau dans la congélation qu'est due l'action destructive de la gelée sur les pierres ; le délitement de pierres gelées provient uniquement de la congélation de l'eau qui en pénètre les pores.

Passage de l'état liquide à l'état de vapeur, et de l'état de vapeur à la liquéfaction. Lorsqu'un liquide renfermé dans un vase ouvert est soumis à l'action d'un foyer de chaleur, le liquide s'échauffe, sa surface émet une quantité croissante de vapeur dont la force élastique augmente avec la température ; et enfin, lorsque la force élastique de ces vapeurs peut soulever le poids de l'atmosphère, elles se forment dans l'intérieur même de la masse et s'élèvent en globules qui viennent crever à la surface. Ce phénomène a été appelé *ébullition.* Lorsque le liquide est arrivé à la température de l'ébullition, sa température reste constante jusqu'à ce que toute la masse soit évaporée ; par conséquent, toute la chaleur reçue du foyer est employée à former de la vapeur, et elle y est latente ; car la vapeur est à la même température que le liquide. Ce phénomène est analogue à celui que présente la fusion des corps solides.

Comme l'ébullition d'un liquide n'a lieu que lorsque la force élastique des vapeurs est égale à la pression atmosphérique, il en résulte que la température de l'ébullition doit suivre les variations du baromètre, et qu'elle n'est pas toujours la même dans le même lieu. Si l'on monte au sommet du Mont-Blanc, dont la hauteur est de 15670 pieds et 6 pouces et demi au-dessus du niveau de la mer, l'eau entre

en ébullition à environ 84 degrés centigrades. Ainsi, il suffit de diminuer la pression pour favoriser la formation des vapeurs, et ce principe a été mis à profit dans les fabriques de sucre de betteraves, où l'on fait le vide au-dessus de la chaudière non-seulement pour que la vapeur se forme plus facilement, mais aussi pour abaisser la température de l'ebullition et ne pas risquer de brûler le sucre. A Briançon, ville la plus élevée de l'Europe, l'eau bout à 95 degrés et demi centigrades; aussi plusieurs légumes ne peuvent y parvenir à une cuisson parfaite dans l'eau bouillante.

Mais, comme les variations du baromètre, dans un même lieu, ne sont pas très-considérables, elles ne produisent pas ordinairement des changements bien-sensibles dans la température de l'ébullition.

Lorsqu'un vase, renfermant de l'eau à une certaine hauteur, est soumis par sa partie inférieure à l'action d'un foyer, l'ébullition n'a lieu qu'autant que la force élastique de la vapeur peut soulever le poids de l'atmosphère et le poids du liquide; ainsi, la température de l'ébullition est d'autant plus élevée que la hauteur du liquide dans le vase est plus considérable. Si la hauteur du liquide était de 32 pieds, la tension des vapeurs sur le fond du vase devrait être de deux atmosphères; par conséquent, l'ébullition n'aurait lieu qu'à 122 degrés.

Le frémissement qui se produit avant l'ébullition dépend de ce que l'ébullition à lieu d'abord à la surface et ensuite à des profondeurs qui croissent à mesure que la température augmente.

Lorsque l'eau bout dans le verre, l'ébullition n'a lieu que par intervalle et il se forme de grosses bulles de vapeur, et le vase éprouve des mouvements brusques très-sensibles que l'on nomme soubresauts; mais, quand on met dans le vase des matières en poudre, l'ébullition est lente et se fait d'une manière tranquille.

Température de la fusion de différents liquides sous la pression ordinaire.

	Degrés.
Ether sulfurique,	37,8
Carbure de soufre,	47,0
Alcool,	79,7
Dissolution saturée de sulfate de soude,	100,7
— d'acétate de plomb,	102,0
— de muriate de soude,	106,9
— de muriate d'ammoniaque,	114,4
— de nitre,	115,6
— de tartre,	116,7
— de nitrate d'ammoniaque,	125,3
— de sous-carbonate de potasse,	140,0
Phosphore,	290,0
Soufre,	299,0
Acide sulfurique,	310,0
Huile de lin,	316,0
Mercure,	350,0

Comme nous l'avons vu, en augmentant la pression, on peut retarder l'ébullition. C'est ce que l'on est parvenu à faire au moyen d'une

machine appelée marmitte de Papin, souvent en usage dans les laboratoires, dans laquelle on élève l'eau à des températures énormes sans la faire bouillir. Cet appareil, employé à dissoudre la gélatine des os soit pour faire de la colle-forte, soit même une substance sur les propriétés nutritives de laquelle on est loin de s'accorder, se compose (fig: 42.) d'un vase de fonte ou de cuivre A B C D, terminé à sa partie supérieure par un rebord sur lequel s'applique un couvercle M pressé par une vis dont l'écrou est percé dans un cadre de fer qui s'engage par ses extrémités sous les rebords A et B du vase ; le couvercle est garni d'une soupape de sureté *a*.

Lorsque l'on soumet un liquide renfermé dans un vase clos à une haute température, l'atmosphère de vapeurs qui se forme retarde continuellement l'ébullition jusqu'à une certaine température, à laquelle toute la masse se transforme en vapeurs. Ainsi, on a reconnu que l'alcool produit une pression de 119 atmosphères en se vaporisant dans un espace triple de celui qu'occupe cette substance à l'état liquide.

Si la vaporisation n'a pas lieu par un foyer de chaleur, mais seulement par la tension que les liquides possèdent à toutes les températures, elle abaissera la température du liquide ; car, comme les liquides, pour se vaporiser, absorbent une grande quantité de calorique qui devient alors latent, si l'air et les corps environnants ne lui fournissent pas assez de calorique, celui de la masse liquide sera rapidement absorbé et elle se refroidira.

Le procédé qui à lieu en Espagne et en Egypte pour rafraichir l'eau est fondé sur le froid produit par cette évaporation spontanée ; on emploie des vases poreux à travers lesquels l'eau suinte lentement et présente à l'extérieur une grande surface humide qui facilite son évaporation aux dépens de la température du vase et de l'eau qu'il renferme. A Bangale, l'on met sur les croisées des branchages mouillés, et l'air en passant à travers se refroidit en se chargeant de vapeur ; on obtient ainsi un abaissement de température qui va de 10 à 15 degrés à cause de la grande sécheresse de l'air.

La chaleur absorbée par la vaporisation est une cause permanente du refroidissement du corps humain ; car la transpiration de la peau donne naissance à une très-grande quantité de vapeurs qui se forment aux dépens de la température du corps. Il parait que c'est en partie à cette cause qu'est due l'uniformité de température du corps humain dans tous les climats ; car la transpiration est d'autent plus abondante que la température du climat est plus élevée : la température fixe du corps humain est de 37 degrés centigrades.

EMPLOI DE LA VAPEUR COMME FORCE MOTRICE.

La vapeur d'eau est un des moteurs les plus puissants et les plus précieux que nous possédions, non seulement parce qu'on est maître de lui donner tel degré d'intensité que l'on veut, mais encore, parce qu'on peut l'établir partout, même sur les machines dont elle produit le mouvement, comme les bateaux, les voitures.

On peut employer la vapeur d'une manière directe, en dirigeant sur les palettes d'une roue un jet de vapeur qui sort par l'orifice étroit d'une

chaudière soumise à un foyer de chaleur. Ce mouvement de rotation peut alors être transformé en un mouvement quelconque. La découverte de cette machine est due à Branca ; cette machine, malgré sa simplicité n'est point d'usage, à cause de son peu d'effet, et parconséquent, à cause de son peu d'utilité. La vapeur peut encore être employée par réaction d'une manière analogue à l'eau et à l'air ; mais toutes les machines qui sont maintenant employées sont fondées non sur l'effet provenant de l'écoulement de la vapeur, mais sur sa force élastique, qui est prodigieuse et qui est telle qu'une livre d'eau vaporisée soulève un poids de soixante dix-sept mille livres, tandis qu'une livre de poudre enflammée ne peut soulever qu'un poids de trente mille livres.

Machine de Watt à basse pression. Le célèbre Watt, frappé de l'imperfection des machines à simple effet, résolut d'y remédier. D'abord, remarquant que l'injection de l'eau froide dans le cylindre, en se refroidissant, occasionnait la condensation d'une quantité considérable de vapeur dans le moment même où on l'introduisait dans le cylindre, il conçut l'idée d'opérer cette injonction d'eau froide dans un vase séparé. A cette première amélioration, Watt en joignit une autre infiniment importante : il supprima la pression atmosphérique, et fit agir la vapeur alternativement sur et sous le piston.

La (fig : 43.) est une coupe verticale de la machine employée aujourd'hui. Cette machine est à basse pression, c'est-à-dire, que la vapeur y a toujours une force élastique qui, quoiqu'au-dessus d'une, ne dépasse jamais deux atmosphères. La partie AB réprésente un fourneau en brique dans lequel est fixée la chaudière C. Voici le foyer D, et ici la cheminée E dont on augmente ou on diminue le tirage à l'aide de la pièce *g*. La chaudière dont la forme est à peu près arbitraire dans la machine à basse pression, est percée par le haut d'une ouverture suffisamment grande pour qu'un homme puisse s'y introduire quand quelque réparation l'exige. Cette ouverture est exactement fermée par une plaque métallique *c*, lorsque la machine doit être mise en opération. Une autre ouverture *k*, pratiquée dans la paroi supérieure de la chaudière, est fermée par une soupape de sûreté maintenue par un lévier à l'extrémité duquel on place un poids convenable *g*. Deux tubes *m* et *n* de différentes longueurs, fixées dans la chaudière, font connaître le niveau de l'eau, qui doit toujours être plus bas que l'extrémité du plus court et plus haut que l'extrémité du plus long. Lorsque l'on ouvre les robinets, le dégagement de la vapeur indique que le liquide n'atteint pas la partie inférieure des tubes. La partie supérieure de la chaudière est encore traversée par un tuyau *v* qui descend jusqu'à une petite distance de la partie inférieure, et qui est surmonté d'un réservoir rempli d'eau. Ce tuyau est fermé par une soupape *s* fixée à un levier, à l'une des extrémités duquel se trouve un poids *z* et à l'autre un flotteur *r*. Quand l'eau baisse dans la chaudière, le flotteur, baissant avec elle, ouvre la soupape, et l'eau du réservoir pénètre dans la chaudière jusqu'à ce que le flotteur soit assez remonté pour que la soupape puisse se fermer. Le petit tuyau est destiné à débarasser le réservoir de l'excès d'eau qui y arrive. C'est par ce tuyau que la vapeur est transmise de la chaudière au cylindre M. Un modérateur, dont le mouve-

ment est proportionné à celui du piston, fait tourner, par l'écartement de ses deux boules, un robinet placé dans le tuyau, règle ainsi l'introduction de la vapeur, et empêche que le mouvement ne devienne trop rapide.

La vapeur arrivée dans la boite à soupape, est introduite dans le cylindre au-dessus et au-dessous du piston. La communication entre la boite à soupape et le cylindre, et entre celui-ci et le condensateur J est réglée par le mouvement de va-et-vient d'un tiroir T, tellement disposé, qu'en même temps qu'une des extrémités du cylindre communique avec la boite, l'autre communique avec le condensateur. Le mouvement de va-et-vient imprimé au piston se transmet au balancier au moyen d'une tige qui passe dans la partie supérieure du cylindre et qui est maintenue verticale par le mécanisme. Le mouvement du balancier est changé en un mouvement de rotation et transmis à un axe horizontal, par le moyen d'une bielle Y et d'une manivelle P. Une roue R, que l'on appelle *volant*, est destinée à régulariser le mouvement ; elle est ordinairement de métal et fort pesante. Cette partie de l'appareil est destinée à produire le jeu du tiroir. Cette pièce embrasse une roue fixée à l'arbre du *volant*, qui la traverse à une certaine distance de son centre. Le mouvement de rotation de l'axe du *volant* en produit une de va-et-vient pour cette pièce, qui, à l'aide d'un levier coudé, est transmis au tiroir. C'est au moyen du robinet *y* que l'on introduit l'eau froide dans le condensateur que l'on vide à l'aide de la pompe *q*. Une autre pompe *e* refoule l'eau qui sort du condensateur dans le réservoir destiné à alimenter la chaudière, et la pompe *l* fournit l'eau froide dont le niveau est réglé par la hauteur du tube *n*.

Machine à haute pression. On appelle *machines à haute pression*, celles dans lesquelles la vapeur à une élasticité de plusieurs atmosphères, ordinairement de 4 ou 5, et quelque fois de 8 et même de 10. Dans ces machines, un condensateur n'est point nécessaire. Il suffit que la vapeur trouve une issue dans l'atmosphère à chacune des extrémités du cylindre ; les issues s'ouvrent et se ferment par le jeu du tiroir. Les machines à haute pression, n'ayant point de condensateur, n'en ont point les accessoirs. Pour le reste, le mécanisme est à peu près le même que dans les machines à basse pression ; seulement les parties sur lesquelles agit la vapeur doivent être infiniment plus fortes.

Bateau à vapeur. Dès 1775 un français, Perrier, fit voir sur la Seine un bateau mu par la vapeur, mais ce n'était qu'un essai bien imparfait. Le mécanicien américain Fulton est le premier qui remplit les conditions nécessaires pour la vitesse de ces bateaux. C'est pour cela qu'on le regarde comme l'auteur de la navigation par la vapeur, qui commença en Amérique en 1807, en Angleterre en 1812, en France en 1816.

Ces bateaux n'ont de particulier que des roues à aubes qui, en tournant, frappent l'eau dont la résistance produit le mouvement du vaisseau. Ces roues n'ont souvent qu'un arbre commun qui traverse le vaisseau ; quelquefois chaque roue est mue par une machine particulière.

Locomotive. Les *locomotives* sont construites sur le même principe que les steamboats ; mais elles diffèrent de ceux-ci en ce que, dans les locomotives, les tiges des pistons sont horizontales et agissent immé-

diatement et alternativement sur l'essieu des roues au moyen de deux coudes qui sont à angle droit sur l'essieu.

Sources de chaleur. La plus grande source de chaleur de même que la plus grande source de lumière et la plus influente sur la terre est le soleil. Il nous échauffe d'autant plus qu'il nous frappe plus longtemps et plus perpendiculairement, et d'autant moins qu'il nous donne plus obliquement ses rayons. Dans un même lieu, la température est au minimum au lever du soleil, et au maximum à deux heures dans les jours les plus courts et à trois heures dans les jours les plus longs. La raison pour laquelle la plus haute température de l'air n'est pas à midi, quoique ce soit l'instant où le soleil est le plus ardent, c'est que, à cette heure, l'atmosphère n'a pas encore eu le temps de se réchauffer et de regagner tout le calorique qu'elle avait perdu par l'absence du soleil.

Chaleur centrale de la terre. Le plus grand foyer de chaleur, après le soleil, est le centre de la terre. Il n'y a nul doute maintenant que le centre de la terre ne soit un foyer de chaleur ; ce que l'on pouvait croire sans certitude par les phénomènes volcaniques et par le développement de plusieurs autres phénomènes. Ce que l'on savait depuis quelque temps par des expériences nombreuses, c'est que la température est constante pour un même lieu à une petite distance au-dessous de la surface du globe, et qu'à de plus grandes profondeurs la température croît d'environ 1 degré pour à peu près chaque 100 pieds sur la verticale. Cependant comme on n'avait pas creusé à une très-grande profondeur, on ne pouvait pas décider si la température croîtrait constamment dans le même rapport ; mais tout dernièrement Mr. Mulot est parvenu par des travaux et des efforts inouis à creuser un puits artésien à une profondeur de près de 1700 pieds, et il a trouvé constamment cette progression de 1 degré pour chaque 100 pieds, et plus encore, à cette profondeur il s'est déclaré une source abondante d'eau chaude à 28 degrés centigrades, au lieu de 17 qu'il aurait obtenu si la température se fût accrue dans le même rapport. Mais cela vient de ce que la masse d'eau étant très-profonde, les couches inférieures sont plus chaudes, et comme elle sont plus légères, étant plus dilatées, elles s'élevent.

Pression et percussion. Comme les solides et les liquides sont très-peu compressibles, ils émettent très-peu de chaleur quand on les comprime ; les gaz au contraire étant très-compressibles en développent une très-grande quantité. Mais c'est principalement par une percussion vive que les corps émettent de la chaleur ; l'air, l'oxigène et le chlore fortement comprimés dégagent de la chaleur et de la lumière. C'est même sur cette propriété que sont fondés les briquets pneumatiques.

Frottement. Lorsque l'on frotte vivement deux corps l'un contre l'autre, il se développe une quantité de chaleur d'autant plus grande que le frottement est plus rapide. C'est ainsi qu'il se manifeste beaucoup de chaleur sur l'essieu des roues, dans les métaux qu'on lime ou que l'on perfore, dans le choc du briquet contre le silex.

Changements d'état des corps. Nous avons vu précédemment que chaque fois qu'un gaz passe à l'état liquide, ou un liquide à l'état solide, sans source de froid, il se dégage de la chaleur.

Actions chimiques. Il se produit aussi beaucoup de chaleur dans certaines actions chimiques.

ÉLECTRICITÉ.

Lorsque l'on frotte avec une étoffe de laine ou une peau de chat bien sèche un morçeau de verre, de soufre, de résine ou un bâton de cire d'Espagne, ces corps jouissent, après le frottement, de la propriété d'attirer les corps légers, tels que des barbes de plumes, de petits fragments de papier. Quand on approche de la figure ces substances ainsi frottées, on éprouve une espèce de chatouillement, provenant de ce que le duvet qui couvre la figure est attiré par elles. Lorsque ces substances sont frottées dans l'obscurité, elles paraissent lumineuses, et si l'on approche le doigt on aperçoit une étincelle. La cause de ces phénomènes nous est jusqu'à ce jour inconnue ; mais, quelque soit sa nature, nous la désignons sous le nom d'électricité du nom grec de l'ambre (èlectron), substance dans laquelle on l'a reconnue pour la première fois.

Les attractions dont nous venons de parler se manifestent souvent à des distances considérables, et ne sont point détruites par l'interposition des corps de quelque nature qu'ils soient ; c'est ce que l'on peut constater en interposant des lames de différentes substances entre les corps électrisés et les corps légers.

Inégalité de faculté conductrice des corps. En général, lorsqu'un corps a été électrisé par le frottement et qu'on le touche avec la main, avec un métal quelconque ou avec de l'eau, on lui fait perdre aussitôt sa propriété d'attirer les corps légers ; et il revient aussitôt à son état primitif ; mais lorsqu'on le touche avec du verre, du soufre, des résines, de la soie, il conserve encore après le toucher sa faculté électrique. Pour expliquer ces faits l'on a admis que l'électricité est un fluide extrêmement subtil qui pénètre certains corps avec beaucoup de facilité, tandisqu'il ne pénètre pas ou ne pénètre que difficilement d'autres corps. On appelle les premiers *bons conducteurs*, et les autres *mauvais conducteur* .

On a reconnu que toutes les substances vitreuses, résineuses, les pierres, les briques, la terre sèche, la soie et les gaz secs, et en général toutes les substances qui s'électrisent facilement par le frottement, sont de très-mauvais conducteurs ; et qu'au contraire, l'eau, surtout celle qui est chargée de sels, presque tous les liquides, les gaz humides, le charbon calciné, les végétaux, les animaux, la terre humide, et les métaux sont de très-bons conducteurs.

Lorsqu'un corps est bon conducteur, l'électricité le parcourt avec une extrême rapidité.

On dit qu'un corps est isolé lorsqu'il est soutenu par un corps mauvais conducteur. Les corps qui sont le plus fréquemment employés comme isoloirs, sont des cordons de soie, des tubes de verre recouverts de gomme laque et surtout des cylindres de gomme laque.

Lorsque l'on isole deux corps conducteurs, si on les met en contact après avoir électrisé l'un d'eux, l'électricité se partage entre eux, dans une quantité proportionnelle à leurs surfaces, tellement que si la surface du corps non électrisé mis en contact était très-considérable par

rapport a celle de l'autre, l'électricité de ce dernier deviendrait très-insensible : c'est ce qui arrive lorsque l'on met un corps électrisé en contact avec le sol, directement ou par l'intermédiaire de bons conducteurs. C'est pour cette raison que la terre est désignée sous le nom de *réservoir commun*.

Si l'on met en contact deux corps mauvais conducteurs, dont l'un est électrisé, et l'autre ne l'est pas, ils ne perdent ou n'acquièrent d'électricité qu'aux points de contact.

Si deux corps dont l'un bon conducteur et isolé et l'autre mauvais conducteur sont mis en contact, après que l'un d'eux a été électrisé, le corps mauvais conducteur n'aquierra ou ne perdra d'électricité qu'au point de contact, tandisque que l'accroissement ou la perte se fait sur toute l'étendue de la surface du corps bon conducteur.

Tous les corps sont susceptibles de s'électriser par le frottement, c'est ce que l'on a pu voir dans les corps non-conducteurs ; et si, en frottant des corps bons conducteurs, on n'a pu apercevoir cette propriété, c'est que cette trop grande faculté conductrice du corps frotté permet au fluide de s'échapper à mesure qu'il est produit, par la main et le corps qui sont de bons conducteurs. C'est ce que l'on peut prouver en frottant avec une étoffe de soie une verge de métal terminée à une de ses extrémités par une boule, et à l'autre par un manche de verre. Vous n'avez qu'à l'approcher des corps légers, ils sont attirés, puis repoussés par la verge métallique, mais cette verge, comme tous les corps bons conducteurs, à été privée de son électricité dans toute son étendue.

Si l'on suspend à un fil de soie bien sec une boule très-légère de moëlle de sureau, on a ce que l'on appelle un pendule électrique ; ce petit appareil est très-commode pour étudier les phénomènes électriques. Si l'on frotte l'un contre l'autre deux corps isolés, et qu'on les approche séparément de la petite boule de sureau, ils attirent tous deux la petite balle. Mais si on la touche avec un des corps, elle y adhère un instant, puis est repoussée par le corps après s'être chargée de son électricité, et est attirée par l'autre corps. Ce qui prouve que les électricités qui se développent dans ces deux corps sont de nature différente, et cette expérience à induit à établir ce principe que les corps chargés d'électricité de même nature se repoussent, et que ceux qui sont chargés d'électricité différente s'attirent.

Ces deux espèces d'électricités dont nous venons de parler sont produites par le verre et la résine ; c'est pourquoi on les a désignées sous le nom d'électricité vitrée et d'électricité résineuse, ou d'électricité positive et d'électricité négative. Mais ces deux dernières dénominations ne sont pas justes, puisque l'une n'est pas plus positive ni négative que l'autre, et qu'elles peuvent devenir l'une et l'autre tour-à-tour.

On peut reconnaître, au moyen du pendule électrique, de quelle espèce d'électricité l'on a chargé un corps par le frottement. Pour cela on touche la boule de sureau au moyen d'un tube de verre frotté avec une étoffe de laine, et l'on approche ensuite de la boule le corps que l'on veut éprouver ; s'il attire la boule, il est chargé d'électricité résineuse, s'il la repousse, il est chargé d'électricité vitrée. C'est qu'un tube de verre frotté avec de la laine s'électrise vitreusement, et par

conséquent, doit attirer un corps chargé d'électricité résineuse et repousser un corps chargé d'électricité vitrée, d'après la loi que nous venons de trouver. L'électricité que prend un corps frotté dépend non seulement de sa nature, mais encore de celle du corps frottant; lorsqu'ils sont de nature différente, elle depend de leurs propriétés physiques, mais, si ces propriétés physiques sont les mêmes, elle dépend de certaines circonstances du frottement qu'il n'est pas toujours facile d'apprécier. Ainsi, le verre frotté avec de la laine s'électrise vitreusement, et frotté avec une peau de chat il prend l'électricité résineuse ; le verre dépoli frotté avec du verre poli s'électrise vitreusement ; de deux rubans frottés en croix, celui qui est frotté dans le sens de sa longueur prend l'électricité vitrée, tandisque l'autre s'électrise résineusement. Si l'on frotte l'une contre l'autre deux plaques de verre poli, chacune d'elles prend tantôt l'électricité résineuse, tantôt l'électricité vitrée. Mais ce qu'il y a de certain, c'est que le corps frotté et le corps frottant se chargent toujours d'électricités différentes.

Pour vérifier cette loi dans des corps conducteurs, il faut les isoler. On place deux personnes sur des tabourets à pieds de verre, dont l'une frappe l'autre avec une peau de chat ; la première prend l'électricité vitree et la seconde l'électricité résineuse. Si une personne non isolée les touche elle tirera de chacune d'elles une étincelle.

Lois des attractions et des répulsions électriques. Coulomb, célèbre physicien français, reconnut par des expériences nombreuses et délicates que les attractions et les répulsions électriques suivent les mêmes lois que celles que l'on a observées pour l'attraction universelle, c'est-à-dire qu'elles s'exercent en raison des masses, ou mieux en raison des quantités d'électricité renfermées dans les deux corps, et en raison inverse du carré des distances. Ainsi, si un corps est chargé d'une quantite d'électricité double de l'autre corps, il l'attirera deux fois plus que l'autre ne l'attirera ; à une distance double, ils s'attireront quatre fois moins, triple 9 fois, quatruple 16 fois, ainsi de suite.

Causes de la déperdition de l'électricité. Il n'existe aucun corps dans la nature qui ne soit un peu conducteur de l'électricité ; c'est pourquoi lorsqu'un corps conducteur isolé est chargé d'électricité, sa tension électrique diminue continuellement, et finit par s'anéantir au bout d'un certain temps, parce que l'air, toujours chargé de vapeur d'eau, enlève à chaque instant à ce corps une partie de son électricité et finit par la lui ravir toute entière.

C'est encore Coulomb qui a déterminé les lois de la perte d'électricité par l'air et par les supports. Il s'assura, après de nombreux essais que, lorsque la tension électrique n'est pas très-considérable, un petit cylindre de cire d'Espagne ou de gomme laque d'une demi ligne de diamètre, et de 18 à 20 lignes de longueur suffit pour isoler parfaitement une boule de sureau de cinq à six lignes de diamètre. On obtient aussi un isoloir parfait, lorsque l'air est sec, en formant avec un fil de soie, enduit de cire d'Espagne, un petit cylindre d'un quart de pouce de diamètre et de 5 à 6 pouces de longueur.

C'est en se servant d'une boule de sureau électrisée et ainsi parfaitement isolée, et en examinant son action sur une autre boule placée

à l'extrémité d'une aiguille isolante horizontale, que Coulomb a pu mesurer la perte d'électricité par le contact de l'air. C'est ainsi qu'il trouva que, pour un même jour et un même état de l'air, l'affaiblissement de l'électricité dans un temps très-court, est proportionnel à son intensité, et qu'il présente toujours la même fraction pour toutes les tensions jusqu'à son entière anéantissement. On sait, par exemple, que par un temps très-sec, dans l'espace d'une minute, un corps électrisé perd $\frac{1}{10}$ de son intensité électrique. Eh bien! dans la 2me. minute, il perdra encore $\frac{1}{10}$ de ce qui lui reste ; ainsi de suite. Mais cette perte d'intensité varie avec le degré d'humidité de l'air ; dans un temps très-humide, la perte est de 1-10 par seconde ; voilà pourquoi il est si difficile de charger une machine électrique dans un temps humide.

L'électricité est retenue à la surface des corps conducteurs par la présence de l'air. Cette effet est dû sans doute à son peu de faculté conductrice, car si l'on place sous le récipient de la machine pneumatique un corps électrisé, l'électricité se dissipe entièrement après qu'on a fait le vide. Mais, bien que l'électricité des corps mauvais conducteurs se dissipe aussi rapidement, cependant ils conservent encore une certaine tension.

DISPOSITION DE L'ÉLECTRICITÉ LIBRE DANS LES CORPS CONDUCTEURS.

Disposition de l'électricité en équilibre dans les corps conducteurs. L'électricité se répand seulement à la surface des corps. On peut s'en assurer en électrisant une sphère creuse percée d'une ouverture circulaire, et en introduisant dans son intérieur un petit disque de papier doré supporté par un manche de gomme laque. Si, à l'entrée et à la sortie, ce petit disque n'a pas touché les parois de l'ouverture il ne marque aucune tension électrique ; donc l'électricité ne se répand qu'à la snrface. L'électricité forme une couche extrêmement mince à la surface des corps. Son intensité est la même sur tous les points de la surface d'une sphère ; mais elle varie pour toute autre forme des corps. Sur un corps prismatique ou un cylindre allongé, l'électricité est bien plus forte vers les deux extrémités que vers le milieu. La tension est toujours plus forte, et, par conséquent, la perte d'électricité plus rapide dans les corps terminés par des pointes. On a profité, comme nous le verrons dans la machine électrique, de cette dernière propriété.

De l'électricité développée par influence. Si l'on présente à une petite distance un corps conducteur A (fig: 44.) électrisé et isolé à un autre corps B, conducteur cylindrique isolé mais non électrisé et garni dans toute sa longueur de fils doubles portant à leurs extrémités de petites balles de moëlle de sureau, on observe les phénomènes suivants :

1°. Toutes les petites balles s'écartent, et, par conséquent, le corps B est électrisé.

2°. Les petites balles divergent d'autant plus qu'elles sont plus éloignées du centre B du corps ; ce qui prouve que la tension de l'électricité va s'augmentant vers les extrémités.

3°. L'électricité dont une des extrémités du corps B est chargée n'est pas la même que l'électricité dont est chargée l'autre extrémité ; mais l'électricité dont est chargée l'extrémité *m* est toujours différente de celle du corps électrisé A.

4°. Si pendant l'expérience on essaie la tension du corps A, on voit qu'elle est moindre que lorsque ce corps n'est pas en rapprochement avec le corps B.

5°. A mesure que l'on éloigne le corps A on voit diminuer la divergence des balles.

6°. Lorsque le corps B est entièrement soustrait à l'action du corps A ils reviennent tous deux à l'état où ils étaient avant le rapprochement, le corps B ne conserve aucune trace d'électricité et le second a exactement la tension qu'il avait d'abord diminuée seulement de la perte qu'il a faite par le contact de l'air pendant toute la durée de l'expérience.

7°. Si l'on rapproche de nouveau les corps A et B, les mêmes phénomènes se reproduisent.

8°. Si, pendant que le corps B est sous l'influence du corps A, on le touche en *n*, avec un corps d'une petite dimension, la tension diminue en ce point, et après l'éloignement de A on trouve le corps B chargé de l'électricité qui existait en *m* ; de même, si on touchait le corps en *m*, le corps, quand il serait soustrait à l'influence du corps A, se trouverait chargé de l'électricité qui était en *n*. Mais si l'on touche le corps B en *m* ou en *n* avec un corps conducteur communiquant avec le sol, le corps B reste chargé d'électricité contraire à celle de A.

9°. Si on touche le corps A, tout indice d'électricité disparait dans le corps B.

Nous pouvons expliquer très-facilement tous ces phénomènes d'après les hypothèses ou suppositions que nous avons admises. En effet, puisque tous les corps renferment de l'électricité à l'état naturel et d'inaction, le corps A, étant chargé d'électricité vitrée, doit décomposer l'électricité naturelle du corps B, repousser à l'extrémité *n* l'électricité de même nom, et retenir à l'extrémité *m* l'électricité résineuse ou de nom contraire ; cette séparation des électricités du corps B sera d'autant plus grande que le corps A sera plus rapproché de lui, et l'équilibre s'établit entre les attractions de ces deux fluides ainsi séparés l'un de l'autre et entre les attractions et les répulsions du corps A. Mais en même temps les électricités libres du corps B exercent une réaction sur l'électricité du corps A et une partie de cette dernière se trouve neutralisée par cette action à distance ; voilà pourquoi, comme nous venons de le voir, sa tension diminue lorsqu'il est sous l'influence du corps B, et pourquoi aussi il revient à sa tension primitive, lorsqu'il est soustrait à cette influence. Lorsque l'on touche le corps A ou qu'on l'éloigne suffisamment tous les phénomènes qui se développent dans le corps B disparaissent ; et lorsque l'on enlève sur le corps B une portion de l'une des deux électricités qui y sont à l'état de liberté, après que l'on a éloigné le corps A, elles ne sont plus dans les proportions nécessaires pour se neutraliser, et le corps reste chargé d'une électricité de nom contraire à celle qui a été enlevée.

Enfin si l'on fait communiquer avec le sol l'espace *np* du corps B, tout le fluide vitré s'écoule et le fluide résineux reste en totalité, pour faire équilibre au fluide vitré dont est chargé le corps isolé A. Mais si un point quelconque de l'espace *mp* communique avec le sol, c'est encore le fluide vitré qui s'écoule et le fluide résineux qui reste ; en effet, l'électricité naturelle du corps qui sert à établir la communication avec le sol est décomposée par influence ; son électricité vitrée est repoussée dans le sol par l'électricité vitrée du corps B ; et, comme la tension de son électricité résineuse, qui communique avec le sol et qui n'est pas génée par l'influence de l'électricité vitrée du corps A, est plus forte que l'électricité résineuse du corps B, elle est accumulée sur ce corps, et, après qu'on a éloigné le corps A, le corps B est électrisé vitreusement.

Appareils électriques. Les petits instruments dont nous venons de parler n'étant pas suffisants pour produire de grands effets, on a inventé des appareils dont les effets sont beaucoup plus énergiques.

Machine électrique. Il y a plusieurs espèces de machines électriques ; mais celle qui est la plus simple et la plus commode pour obtenir l'une ou l'autre électricité se compose (fig: 14.) d'un grand cylindre de verre retréci à ses deux extrémités et terminé par deux prolongements de bois, couverts de résine qui sont dans l'axe du cylindre et qui tournent sur deux supports. L'un de ces prolongements est terminé par une manivelle avec laquelle on met la machine en mouvement ; au côté du cylindre de verre est placé un cylindre de cuivre ou de bois recouvert de métal, dont les extrémités sont arrondies ou terminées par des sphères, et dont la partie qui correspond au cylindre de verre est garnie de pointes ; ce cylindre métallique appelé conducteur de la machine est isolé au moyen d'un support de verre. Sur l'autre côté du cylindre de verre est appuyé un coussin ou frottoir fait de crin et recouvert de chamois ou de maroquin, et qui, par son frottement sur le cylindre de verre, sert à développer l'électricité fournie au conducteur. Ce coussin est isolé au moyen d'un support de verre, afin de pouvoir, quand il est nécessaire, obtenir de l'électricité résineuse, et il se prolonge par un morceau de taffetas sur le cylindre de verre à quelque distance des pointes pour y fournir l'électricité. Maintenant, si l'on met la machine en mouvement, il se développe deux espèces d'électricités, l'électricité vitrée qui se répand sur le cylindre de verre et de là au conducteur, par l'intermédiaire des pointes, et l'électricité résineuse qui s'échappe par le support du frottoir ; mais avant il faut mettre le frottoir en communication avec le sol au moyen d'une petite chaîne métallique. Alors l'électricité résineuse passe à travers le coussin et gagne le sol par la chaîne de communication.

L'électricité du cylindre décompose à distance l'électricité naturelle du conducteur, l'électricité résineuse, qui est attirée dans la partie du conducteur la plus voisine du cylindre, s'écoule sur le verre où elle forme du fluide naturel ; cet écoulement à lieu d'une manière continue par les pointes. Alors la partie opposée du conducteur se charge d'une quantité correspondante de fluide vitreux, dont la tension va continuellement en augmentant jusqu'à ce que l'accroissement de tension soit égal à l'accroissement de perte par le contact de l'air, ou si le dévelop-

pement est très-rapide, jusqu'à ce que la tension puisse vaincre la résistance de l'air. Quand l'on veut obtenir de l'électricité résineuse, l'on isole le frottin en relevant la petite chaîne, et l'on établit la communication entre le sol et le conducteur au moyen d'une autre petite chaîne.

Pour que la machine électrique fournisse le plus d'électricité possible, il faut 1°. frotter le coussin avec de l'or mussif, ou avec un alliage formé de deux parties d'étain, de quatre de zinc, et de sept de mercure; 2°. il faut avoir soin de bien établir la communication entre le sol et le coussin; 3°. il faut que les pointes qui transmettent le fluide au conducteur ne soient pas en trop grand nombre et trop rapprochées, parce qu'elles se nuiraient; 4°. il faut bien prendre garde de ne laisser aucune pointe ni aucun angle, excepté les pointes destinées à recevoir le fluide, parce que l'électricité s'échapperait dans l'air par ces angles; 5°. le conducteur doit être isolé, par des corps très-isolants, comme du verre, ou du verre enduit de gomme laque; 6°. l'air doit être très-sec, car l'eau étant très-bon conducteur, l'air humide fait écouler rapidement l'électricité du conducteur.

Voilà pourquoi, quand la température est très-humide, il est impossible presque d'accumuler de l'électricité sur le conducteur. Il faut ajouter que le conducteur ne manifeste de l'électricité que quand la machine est en mouvement, parceque la tension du fluide fourni par le frottin, ne mettant plus d'obstacle à ce qui est déjà accumulé sur le conducteur, celui-ci s'échappe rapidement par les pointes.

Electrophore. L'*électrophore* (fig: 45.) se compose d'un gâteau de résine AB recouvert d'une enveloppe métallique et d'un disque métallique CD un peu plus petit, et armé d'un manche isolant EF. Pour se servir de cet appareil, l'on frotte le gâteau de résine avec une peau de chat, et l'on pose le disque CD sur le gâteau; l'électricité résineuse, dont le plateau de résine a été chargé par le frottement, décompose le fluide naturel du disque métallique; l'électricité vitrée se répand à la surface intérieure, et l'électricité résineuse à la surface supérieure. Le fluide résineux du gâteau ne se réunit pas au fluide vitreux du disque métallique, parce que l'électricité éprouve un grand obstacle pour pénétrer à travers la résine qui est un bien mauvais conducteur. Si l'on enlève le disque, les électricités différentes dont ses deux faces étaient chargées, se combineront et il reviendra à son état naturel; mais si, avant de soulever le disque, l'on touche sa partie supérieure avec le doigt, lorsqu'on l'enlève, sa partie inférieure reste chargée de toute l'électricité vitrée libre qui était répandue sur cette surface, et, comme le gâteau ne perd que très-lentement son électricité, l'expérience pourra être répétée un grand nombre de fois; à la fin cependant l'électricité finira par disparaître.

Condensateur. Le *condensateur* A et B (fig: 46.) se compose de deux disques métalliques, communiquant le premier avec le conducteur d'une machine électrique, et le second avec le sol, et séparés l'un de l'autre par un disque de verre d'un plus grand diamètre. Supposons maintenant que la machine électrique produise de l'électricité vitrée, le plateau supérieur se chargera d'électricité vitrée qui, décomposant l'électricité naturelle, refoulra vers le sol l'électricité de

même nom du plateau inférieur, attirera vers lui à distance, à travers le verre, l'électricité résineuse. Mais, comme ces attractions et ces répulsions électriques se font à distance, le fluide du plateau supérieur ne décomposera qu'une partie bien faible du fluide du disque inférieur, et, par conséquent, le fluide de nom contraire, qui est neutralisé par le fluide du disque supérieur, pour établir l'équilibre, ne pourra neutraliser à son tour qu'une faible quantité de fluide, et ainsi la tension du fluide du disque supérieur est plus forte que celle du disque inférieur. Si le plateau inférieur ne communiquait pas avec le sol, l'appareil ne se chargerait pas, parce que le fluide vitré du plateau inférieur, ne pouvant pas se dégager, exercerait une action répulsive sur la charge du plateau supérieur.

Bouteille de Leyde. L'appareil que l'on désigne sous le nom de *bouteille de Leyde* se compose (fig : 47.) d'un flacon de verre très-mince, recouvert à l'extérieur d'une feuille métallique jusqu'à deux ou trois pouces du col du flacon, et garni aussi à l'intérieur d'une feuille métallique ou rempli de caupeaux métalliques ou de corps bons conducteurs ; ce flacon est bouché hermétiquement et recouvert de résine ou de gomme laque, pour le rendre imperméable à l'électricité ; une tige métallique passant à travers le bouchon est terminée à sa partie inférieure par une pointe qui plonge dans la matière conductrice et à sa partie supérieure par une petite boule.

La bouteille de Leyde est un véritable condensateur, puisque, en l'isolant, on obtient exactement les mêmes phénomènes. En effet, l'armure extérieure et l'armure intérieure peuvent être considérées comme les deux plateaux métalliques séparés par le verre de la bouteille. Ainsi pour les décharger il faut que l'une des armures soit en contact avec le sol; on peut les décharger en mettant les deux armures en contact, ou en touchant alternativement les deux armures. Cet appareil est principalement employé pour produire de violentes commotions ou des combustions.

L'on charge une bouteille de Leyde en mettant la petite boule en contact avec le conducteur de la machine en mouvement, et en mettant l'armure extérieure en communication avec le sol. La charge d'une bouteille de Leyde est d'autant plus grande que les surfaces de ses deux armures sont plus étendues et que la source qui accumule l'électricité à l'une des armures est plus abondante.

La charge est en proportion de la tension, et cette tension se mesure par la distance à laquelle se fait l'explosion, car cette distance diminue à mesure que la tension est plus petite.

Une batterie électrique se compose de plusieurs bouteilles de Leyde dont les armures intérieures communiquent ensemble par des tiges métalliques et les armures extérieures par une plaque de métal sur laquelle reposent toutes les bouteilles. On les décharge de la même manière que les bouteilles de Leyde, seulement que leur décharge est beaucoup plus considérable, la surface de leurs armures étant beaucoup plus grande. L'effet de cette décharge est très-dangéreuse et pourrait même, peut-être, tuer, si la batterie était considérable ; de sorte qu'on ne doit jamais en approcher de trop près lorsqu'elles sont chargées, et qu'on ne doit les décharger qu'à l'aide d'un bon excitateur, instrument que nous allons décrire.

L'effet de la bouteille de Leyde peut se faire sentir à un grand nombre de personnes qui se tiennent par la main. Si la première touche l'extérieur de la bouteille, tandisque la dernière touche le bouton, tout le cercle éprouvera une commotion un peu moins vive au milieu qu'aux deux extrémités. On a essayé une batterie sur un régiment entier et l'on prétend que tous les hommes en furent renversés.

On peut avec les batteries électriques réduire en vapeur l'or et l'étain, enflammer la poudre à canon, l'éther et l'alcool, tuer des oiseaux, des lapins, et même des animaux de plus grande taille; enfin, il en ait qui peuvent fondre des fils de fer de 50 pieds de longueur.

Pour décharger sans danger soit une bouteille de Leyde, soit une batterie, on se sert d'un excitateur. Cet instrument (fig: 48.) se compose de deux tiges métalliques, recourbées, terminées par deux boules aussi métalliques, et tournant sur une charnière. Ces deux tiges sont isolées par deux manches de verre que l'on fait mouvoir à volonté. Quand, au moyen de cet appareil, l'on veut décharger une bouteille de Leyde, on fait toucher une des boules au bouton de la bouteille et l'on fait communiquer en même temps l'autre boule avec l'armure extérieure.

Electroscope. L'*électroscope* (fig: 49.) se compose d'un vase en verre dont le col est traversé par une tige métallique, portant à l'extérieur un bouton également de métal et à l'intérieur deux feuilles d'or très-étroites de quelques pouces de longueur. Le col est garni de résine pour empêcher l'humidité de l'air de pénétrer dans l'intérieur. Quand on présente à cet instrument un corps électrisé même faiblement, et à une assez grande distance, on voit les feuilles d'or s'écarter l'une de l'autre et reprendre leur position verticale aussitôt que l'on éloigne le corps électrisé. Cet instrument sert à reconnaître de quelle électricité un corps est chargé. Il faut d'abord charger l'instrument d'une électricité connue.

On commence par l'isoler en le plaçant sur une plaque de verre ou de résine; ensuite on lui donne une quantité d'électricité vitrée ou résineuse, et, pour cela, on approche de l'électroscope un corps chargé d'une électricité connue, par exemple, un bâton de cire d'Espagne frotté ; l'électricité résineuse sera refoulée dans la partie la plus éloignée de l'appareil, et l'électricité vitrée occupera la partie opposée. Si alors, avant de retirer le bâton de cire d'Espagne, l'on touche le support, l'appareil se trouvera électrisé vitreusement, et ensuite suivant que le corps, dont on veut connaître l'espèce d'électricité, fait diverger ou converger les deux feuilles d'or, on en pourra déduire la nature de son électricité.

Lumière électrique. Les plus grandes charges électriques ne donnent aucune apparance de lumière, tant que l'équilibre existe; mais si les électricités sont en mouvement pour se combiner et qu'il y ait une tension considérable, l'électricité devient lumineuse. Une machine électrique ordinaire communiquant avec le sol par un fil métallique ne rend pas ce fil visible dans l'obscurité ; mais une forte machine l'entoure dans toute sa longueur d'une auréole lumineuse.

Dans l'air ou dans les gaz, leur pression et leur faculté peu conductrice empêchent l'électricité de se précipiter sur les corps voisins, à

moins que la tension ne soit très-considérable. Cette condition est remplie vers les pointes des corps électrisés; aussi dans l'obscurité voit-on des aigrettes lumineuses se former en ces points des corps électrisés. Dans les corps de formes arrondies, il faut de très-grandes charges pour que l'étincelle parte d'elle-même. La présence d'un corps conducteur qui communique avec le sol force l'électricité de s'accumuler dans le voisinage de ce corps; alors la tension est assez forte pour vaincre la résistance de l'air, et l'étincelle jaillit. Dans les machines très-fortes on tire des étincelles à vingt ou trente pouces de distance, le couleur et les sinuosités de cette étincelle sont semblables à celles de l'éclair.

On peut, en plaçant de petits corps conducteurs à une très-petite distance les uns des autres, de manière à former un dessin quelconque, rendre ce dessin lumineux pendant tout le temps que la machine avec laquelle il communique est en mouvement. La lumière se communique si rapidement d'un corps à l'autre, qu'on la voit en même temps aux deux extrémités de l'appareil.

Dans le vide, l'électricité, n'étant plus maintenue à la surface, se répand dans tout l'espace sous l'apparance d'une lumière diffuse, qui ressemble à la lumière de l'aurore boréale; si à l'intérieur l'on place un corps conducteur, l'électricité se porte vers lui, et la lumière prend plus d'éclat.

La lumière n'est pas produite de la même manière par les deux électricités; la lumière de l'électricité vitrée ressemble à une belle aigrette dans l'obscurité, tandisque celle de l'électricité résineuse n'est qu'un point lumineux; on ne connaît pas la cause de ce phénomène.

Electricité atmosphérique. Il existe une telle analogie entre l'électricité ordinaire et la foudre que les physiciens les regardent comme une seule et même chose, seulement que la foudre est une plus grande quantité d'électricité. L'électricité, comme la foudre, est accompagnée d'une vive lumière qui apparait sous la même forme; l'électricité produit comme elle la fusion des métaux, l'inflammation des matières combustibles et la mort des animaux. Mais ce fut seulement en 1752 que le celèbre Franklin constata l'identité de la foudre et de l'électricité, en lançant contre un nuage orageux un cerf-volant armé d'une pointe et retenu par une ficelle; d'abord le fil ne donna aucun signe d'électricité, parce qu'il n'était pas assez bon conducteur, mais une légère pluie étant survenue, il devint bon conducteur, et Franklin parvint à en tirer des étincelles. Mr. de Romas entrelaça la corde du cerf-volant d'un fil de fer terminé à son extrémité inférieure par un cordon de soie qui l'isolait parfaitement. Pour se mettre à l'abri d'une décharge trop violente, il tirait des étincelles au moyen d'un excitateur supporté par des manches de verre de deux pieds de longueur, dont une des extrémités communiquait avec le sol. En dirigeant le cerf-volant vers un nuage orageux, Mr. de Romas obtint des étincelles qui avaient plus de dix pieds de long et qui fesaient un bruit analogue à celui d'un pistolet.

Nous pouvons conclure par ce qui précède, que les nuages orageux sont électrisés, et souvent très-fortement. Il est facile de concevoir, d'après cela, la cause des éclairs et de la foudre. Lorsque deux

nuages se rencontrent et qu'ils sont tous deux chargés d'électricité contraire, ou que l'un d'eux seulement est électrisé, l'autre le devient par influence, et s'ils se trouvent à une distance assez petite pour que les électricités puissent les abandonner, l'explosion qui en résulte est accompagnée d'une vive lumière qui est l'éclair, et le bruit du choc répété par les échos, produit le tonnerre. La foudre n'est autre chose que la décharge d'un nuage orageux sur la terre, parce que l'électricité, dont le nuage est chargé, influence l'électricité naturelle du sol, la décompose et l'électricité de nom contraire est attirée par l'électricité du nuage.

Le nuage est tantôt électrisé vitreusement et tantôt résineusement suivant certaines circonstances qu'il n'est pas toujours facile de définir. Quelquefois c'est l'électricité de la terre qui se précipite vers le nuage, et l'on a ce que l'on appelle la foudre ascendante. On voit quelquefois les feuilles des arbres, que la foudre à visités, propres par dessus, salies par dessous par de la terre humide. On a même vu le sol de terre glaise d'une chaumière lancé par la foudre contre le plafond.

Choc en retour. Il reste cependant à décrire un phénomène électrique extraordinaire, que l'on désigne sous le nom de *choc en retour.* Il consiste, en ce que dans des moments d'orage, des hommes et des animaux ont été tués subitement à une très-grande distance du lieu où était tombée la foudre. On explique ce phénomène d'une manière très-simple. Supposons un nuage électrique d'une grande étendue, située à peu de distance de la surface du sol, il attirera dans toute son étendue l'électricité de nom contraire de la terre ; mais si ce nuage vient à se décharger à une de ses extrémités, il le sera complètement dans toute son étendue, et parconséquent, l'autre extrémité du nuage ne pouvant plus retenir en équilibre l'électricité du sol qu'il attirait, elle sera refoulée vers la terre, et quelquefois d'une manière assez énergique pour causer la mort. L'électricité de l'air est produite en partie par le frottement de ce gaz sur lui-même, mais il est probable qu'il s'en développe une bien plus grande quantité par l'évaporation de l'eau à toutes les températures. Voilà pourquoi, suivant l'opinion de plusieurs savants, les chaudières des steamboats sont souvent brisées, même à d'assez basses températures.

Le fluide de l'atmosphère est toujours vitré par un temps calme et serein, mais il devient souvent résineux dans le cas contraire, sans que l'on puisse toujours dire pourquoi.

Paratonnerres. Les *paratonnerres* sont de grandes verges métalliques terminées en pointe qu'on élève sur le sommet des édifices, et qui communiquent avec la terre humide, ou avec l'eau, par des conducteurs de même nature, et sans que la verge soit discontinuée. Lorsqu'un nuage électrisé passe à proximité de la barre, il en décompose le fluide naturel ; l'électricité de même nature que celle du nuage est refoulée dans le sol, tandisque l'électricité de nom contraire se porte avec énergie vers la pointe, et neutralise sans explosion l'électricité du nuage orageux en se combinant à elle.

C'est Franklin qui, le premier, eut l'idée de se servir des pointes pour se préserver des explosions de l'électricité atmosphérique.

Les paratonnerres doivent être terminés par des pointes aiguës pour que leur influence se fasse sentir à la plus grande distance pos-

sible, et que l'électricité du nuage soit neutralisée avant de se trouver à la distance ou se serait produite l'explosion. Tous les corps qui s'élèvent au-dessus de la terre, tels que les montagnes, les clochers, les arbres, sont ceux sur lesquels tombe plus généralement la foudre, parce qu'ils sont plus rapprochés des nuages orageux. Les arbres et les clochers qui sont élevés et qui ne sont point armés de paratonnerres sont donc des abris dangéreux dans des temps d'orage ; et la foudre tombe plus fréquemment sur ces derniers lorsque l'on sonne les cloches.

Pour qu'un paratonnerre puisse produire son effet, il faut 1°. que la tige soit bien aiguë, afin qu'elle agisse sous la plus petite influence possible, et à la plus grande distance possible du nuage ; 2°. que la pointe soit terminée par un métal difficile à fondre par des décharges électriques, ou à s'oxider par l'action de l'air, parce que, si elle s'arrondissait, il y aurait l'explosion que l'on veut éviter, qui cependant serait sans danger.

On donne ordinairement à la tige du paratonnerre, au-dessus de l'édifice une longueur de 27 pieds, composée de trois parties soudées bout-à-bout, savoir :

Une barre de fer de 25 pieds de longueur, une baguette de cuivre de 22 pouces ; une aiguille de platine de 2 pouces, ajustée au cuivre par une soudure d'argent.

Leur ensemble forme un cône dont la base à deux pouces de diamètre et dont l'épaisseur diminue régulièrement jusqu'au sommet. Ces trois parties sont solidement soudées et les soudures sont enveloppées par des anneaux de cuivre.

Si l'édifice avait de trop grandes dimensions, on y placerait plusieurs paratonnerres dont la distance des uns aux autres serait quatre fois plus grande que leur hauteur. Le conducteur qui fait communiquer la tige avec le sol doit y arriver par le plus court chemin possible, n'étant interrompu dans aucune de ses parties, afin que la communication soit plus immédiate ; si le terrain était sec, il faudrait faire descendre le conducteur de 12 à 15 pieds dans la terre et l'environner de charbon calciné qui préserverait le fer de la rouille, et favoriserait l'écoulement dans le sol à cause de sa faculté conductrice. Il faudrait dériger les eaux de pluie de ce côté. Il faut terminer la tige dans le sol par plusieurs branches, afin qu'elle puisse présenter une grande surface à l'écoulement de l'électricité, car c'est en cela que consiste l'efficacité de l'appareil. Mais les physiciens de nos jours conseillent de substituer à ce mode une lame de fer très-large qui s'oxide plus difficilement que plusieurs tiges très-faibles.

Le conducteur n'a pas besoin d'être isolé, puisque le fluide suit toujours les meilleurs conducteurs ; on le place sur les toits, les murailles, les soutenant par des triangles scellés dans le murailles ou sur ces toits.

Pour empêcher le métal de se rouiller, on le recouvre d'une couche de goudron.

Lorsque l'édifice renferme des pièces de métal, comme des goutières ou des lames de plomb, il faut les faire communiquer avec le conducteur.

Si l'on place plusieurs paratonnerres sur un édifice, il faut établir un conducteur pour chaque tige.

ÉLECTRICITÉ GALVANIQUE.

Galvani, professeur d'anatomie à Boulogne, faisait, en 1789, des expériences sur l'irritabilité nerveuse des cadavres de grenouilles; après les avoir dépouillées et les avoir suspendues à un crochet de cuivre sur un balcon en fer, il vit les pieds et les jambes entrer en convulsion subite. Frappé de cette découverte inattendue, il fit une multitude d'expériences qui le conduisirent à une explication erronnée. Mais Volta découvrit que cet effet était produit par l'électricité qui se développe au contact de deux métaux formant l'arc de communication ; et que, chacun de ces métaux se chargeant d'électricité opposée, au contact des deux métaux et en même temps sur les nerfs de grenouille, leur grande faculté conductrice avait offert un passage aux deux électricités pour recomposer du fluide naturel, comme il arrive aux électricités des deux armures d'une bouteille de Leyde.

Pour se convaincre que le contact de deux métaux produit de l'électricité, il suffit de placer au-dessus et au-dessous de la langue deux morçeaux, l'un de zinc, l'autre d'argent, de manière à ce qu'ils dépassent un peu le bout de la langue. Tant que les deux métaux ne se touchent pas, on n'éprouve aucune sensation, mais quand on les fait toucher ils excitent une saveur piquante, due à l'électricité qui se produit au contact des métaux. Quelquefois même l'on voit dans l'obscurité une espèce d'éclair passer subitement devant les yeux.

Si l'on prend deux disques de 5 à 6 pouces de diamètre, l'un de zinc, l'autre de cuivre, à chacun desquels est adopté un manche isolant, et qu'on les applique l'un sur l'autre en les tenant par les manches, et qu'on les sépare ensuite, il se trouvent chargés d'électricité contraire. Mais comme leur tension électrique est extrêmement faible, il faut accumuler dans un condensateur les petites quantités d'électricité développées par chaque contact.

Lorsque l'on détermine la nature de l'électricité on voit que le contact a fait acquérir au zinc l'électricité vitrée et au cuivre l'électricité résineuse. C'est sur ce principe de production d'électricité que Volta fonda la construction de la pile qui porte son nom, l'appareil le plus puissant et le plus utile que possèdent les sciences physiques et qui a produit d'innombrables découvertes.

Piles de Volta. Ces piles se construisent avec trois corps dont deux doivent être de bons conducteurs et en même temps susceptibles de développer de l'électricité ; le troisième doit être bon conducteur, mais ayant une bien faible faculté productrice. Ces corps sont ordinairement du cuivre rouge, du zinc et de l'eau salée ou acidulée.

Si l'on place sur le sol un disque de cuivre, et au-dessus un disque de zinc de même dimension, le disque de cuivre restera à l'état naturel, celui de zinc sera chargé d'électricité vitrée. Maintenant, si l'on place sur le disque de zinc une rondelle de drap imbibée d'eau salée, et qu'au-dessus l'on mette encore un disque de cuivre, puis un

disque de zinc, celui de cuivre sera électrisé vitreusement comme le disque de zinc dont il est séparé par la rondelle de drap mouillé ; mais le deuxième disque de zinc aura deux fois autant d'électricité vitrée que le premier. Sur le second couple de disques on peut en placer un troisième, un quatrième, et autant que l'on voudra, en posant toujours une rondelle de drap mouillé sur chaque couple de disques, et dans chaque couple le disque de zinc au-dessus du disque de cuivre ; alors on aura construit une pile de Volta. Le disque de cuivre de cha que couple sera au même état électrique que le disque de zinc dont il est séparé par une rondelle de drap mouillé, et le disque de zinc sera chargé d'électricité vitrée de manière à l'emporter toujours de la même quantité sur le disque de cuivre avec lequel il est en contact. Il suit de là que sur le disque de zinc l'électricité accumulée sera proportionnelle au nombre de couples ; ainsi sur la vingtième, elle sera vingt fois plus abondante que sur la première, et cinquante fois sur la cinquantième.

Si la pile était montée en sens contraire, c'est-à-dire, si le zinc communiquait avec le sol au lieu du cuivre, il y aurait la même progression de tension d'électricité, seulement au lieu d'électricité vitrée on aurait de l'électricité résineuse. Si maintenant ces deux piles, au lieu d'être verticales, on les suppose horizontales sur un support isolant de manière que les deux disques inférieurs, l'un de cuivre l'autre de zinc qui reposaient sur le sol, et qui, par conséquent, étaient à l'état naturel, ne soient séparés que par une rondelle de drap humide, on sent que l'état des différentes couples sera comme il était avant ce rapprochement. Ainsi, lorsqu'une pile est isolée, une moitié, celle qui est terminée par un disque de zinc, est chargée d'électricité vitrée, tandisque l'autre moitié, terminée par un disque de cuivre, est chargée d'électricité résineuse. Les disques à égale distance des pôles sont chargés d'électricité contraire, mais d'une égale énergie ; cette tension est nulle pour les deux couples du milieu, et va croissante jusqu'aux deux pôles ou extrémités de la pile. L'extrémité de la pile, terminée par une plaque de zinc, porte le nom de pôle zinc, et l'autre extrémité, qui est terminée par une plaque de cuivre, porte le nom de pôle résineux ou négatif.

La pile que nous venons de décrire est désignée sous le nom de *pile à colonne ;* elle présente des inconvénients que l'on a fait disparaître par une autre disposition. D'abord les disques s'oxidant facilement, chaque fois que l'on remontait la pile, il fallait nétoyer les faces des disques, sans quoi l'on n'obtenait qu'une petite partie de l'électricité qu'elle pouvait développer ; ensuite en ce que les disques, pressant trop les rondelles de drap, en fesaient sortir le liquide ; et rendaient ainsi cette étoffe moins conductrice. D'ailleurs le liquide qui coule le long des disques, décharge sans cesse la pile, et la remet à l'état naturel.

Pile à auge. La *pile à auge* (fig : 50.) se compose de couples rectangulaires soudés, et plongeant dans des cellules d'une caisse horizontale, presque remplies d'eau acidulée et mastiquées avec une matière non-conductrice. Il est évident que l'effet produit doit-être le même que dans la pile à colonne.

Pile de Wallaston. Dans cet appareil, les plaques de cuivre et de zinc sont soudées par un prolongement étroit et disposées vers où l'indique la figure 51 ; la lettre *e* indique le cuivre et la lettre *z* indique le zinc. On descend la barre horizontale AB de manière à faire plonger les plaques dans le vase M, presque rempli d'un liquide conducteur. Cet appareil est employé lorsqu'on veut obtenir des effets qui ne demandent pas une grande tension d'électricité, mais une grande rapidité de circulation, comme nous en citerons bientôt des exemples.

Si l'on réunit ensemble plusieurs piles on aura une batterie voltaïque. On peut réunir les piles de deux manières, en établissant la communication au moyen d'un arc métallique, entre les deux extrémités cuivre ou pôles résineux, et en même temps entre les deux extrémités zinc ou pôles positifs ; on augmente ainsi l'étendue des plaques et l'on a une pile dont l'étendue de la surface est égale à la somme de l'étendue de tous les couples des piles qui forment la batterie ; si l'on joint le pôle résineux de chacune des piles ou pôle zinc de celle qui la suit, on aura alors une batterie, qui pourra être considérée comme une pile dont les couples n'ont pas plus d'étendue que ceux des piles séparées, mais dont le nombre est égal à la somme des couples de toutes les piles réunies.

Piles secondaires de Ritter. Volta avait remarqué que, quand on met les deux pôles de la pile en communication avec un corps légèrement conducteur, tel que du papier mouillé par de l'eau pure, les deux extrémités de cette bande de papier se chargeaient d'électricité contraire, et que si l'on soustrait ensuite le papier au moyen d'un corps isolant, il conserve son électricité pendant un certain temps, après lequel, diminuant continuellement, elle finit par disparaître. C'est sur ce principe que sont fondées les piles de Ritter, qui ne produisent pas d'électricité par elles-mêmes, mais qui la conservent longtemps après qu'on la lui a communiquée. Elles sont formées de disques de cuivre et de carton humide entremêlés. Plus les cartons qui séparent les disques sont épais, leur nombre restant le même, plus la faculté conductrice est petite et plus ces piles conservent longtemps leur électricité. Ces piles une fois chargées par la communication avec les pôles d'une pile voltaïque, produisent les mêmes effets, mais qui finissent par se neutraliser.

Piles sèches. On a fait beaucoup d'essais pour construire des piles sans l'intervention d'un liquide ; mais on n'a jamais obtenu que de faibles effets, puisque les corps secs autres que des métaux que l'on substitue comme corps intermédiaires au liquide sont toujours de très-faibles conducteurs. Les appareils basés sur ce principe portent le nom de *piles sèches* ; il y en a de plusieurs formes, mais la meilleure est celle de Zamboni que nous allons décrire. L'on prend une feuille de papier un peu fort, sur l'une de ses faces l'on colle une feuille de zinc ou d'étain, et sur l'autre face du peroxide de manganèse. L'on superpose plusieurs feuilles ainsi préparées, et, au moyen d'un emporte-pièce, l'on obtient des disques circulaires que l'on superpose ensuite dans le même ordre. On en réunit ainsi de 500 à 2000, que l'on maintient serrés sous une presse, et que l'on enduit ensuite d'une forte couche de gomme laque. A l'extrémité zinc de la pile, l'on

place un disque épais de zinc, sur lequel on peut visser un bouton, et à l'autre une plaque épaisse de cuivre. Ces piles conservent indéfiniment leur énergie.

EFFETS PRODUITS PAR LES PILES VOLTAÏQUES.

Effets physiologiques. Les effets *physiologiques* produits par la pile proviennent de l'intensité ou vitesse des courants et de leur tension ou énergie, mais surtout de cette dernière vertu, puisqu'une pile en hélice de 12 paires de 50 pieds carrés de surface ne donne que de très-faibles commotions, tandisque qu'une pile de 50 couples d'un pouce carré de surface donne des commotions assez vives. Ainsi, dans ces phénomènes, l'intensité ou vitesse du courant est peu importante.

Si l'on veut éprouver les effets d'une pile, il faut toucher les deux pôles avec les mains mouillées, parce que la peau sèche n'est point un assez bon conducteur. On peut éprouver des commotions plus ou moins grandes en n'embrassant qu'un nombre plus ou moins grand de couples; pour cela, on place une main sur l'un des pôles et on met l'autre sur des couples de plus en plus éloignés. Lorsque l'on est en contact avec les deux pôles de la pile, l'on éprouve des sensations désagréables, comme si l'on avait les membres tiraillés.

Lorsque la pile n'a qu'une centaine de paires, dont chacune n'excède pas 4 pouces carrés, on peut recevoir la commotion sans danger; mais il n'en serait pas de même si l'on augmentait le nombre et la surface des couples. Les courants produisent des mouvements extraordinaires sur les corps récemment inanimés. M. Alagendie et plusieurs autres ont reconnu que les animaux asphyxiés étaient promptement rappelés à la vie, quand on les plaçait entre les pôles de la pile; ils sont même parvenus a rappeler des lapins asphyxiés depuis plus d'une demi-heure; et tout récemment, dans les Etats Unis, des médecins, en mettant, aux moyen de deux fils métalliques, les deux pôles d'une batterie galvanique en contact avec le corps d'un homme qui venait d'être exécuté, ont produit des effets étonnants, tellement que le cadavre s'est levé, a marché, s'est assis dans un fauteuil, a donné des signes de sensibilité en portant sa main à son cou pour arracher la corde dont il se croyait encore étreint; il a même prononce des mots inarticulés. Mais les bouleversements extraordinaires produits dans son intérieur par l'énergie des courants ont excité vers le cerveau une puissante conjestion, et un instant après, le reste de l'existence de cet homme s'était éteint.

Effets mecaniques. Lorsqu'un vase est divisé en deux compartiments, par une cloison verticale formée d'une membrane de vessie, si l'on remplit les deux cellules, avec un liquide à la même hauteur, et que l'on fasse plonger le pôle positif dans l'un des compartiments et le pôle négatif dans l'autre, en peu d'instants le liquide n'est plus de niveau, il s'élève dans la cellule ou plonge le pôle négatif. Il y a un grand nombre d'autres effets qu'il serait trop long de décrire ici.

Effets calorifiques. Si l'on met des fils d'une ténuité suffisante en contact avec les deux pôles de la pile, ils s'échauffent, rougissent,

fondent, brûlent ou se volatilisent. Si les fils sont trop longs pour rougir dans toute leur étendue, ils ne rougissent qu'au milieu. Si l'on emploie des piles puissantes, et que l'on mette, à l'extrémité des fils, deux petits cônes de charbon sec, en rapprochant ensuite les deux fils, les étincelles s'échappent de ces deux cônes, et il se forme une lumière continue d'une beauté supérieure à toutes les autres lumières, et d'une température si élevée que le diament et la plombagine y sont volatilisés.

Lorsque l'on met les pôles d'une pile en contact avec des fils de différente nature et qu'on en approche les extrémités à une petite distance, il s'établit un courant continu d'étincelles et il se présente des phénomènes remarquables qui varient avec la nature des métaux. Lorsque l'un des fils est d'or et l'autre de platine, l'or ne change pas, mais le platine devient rouge-blanc; si l'un des fils est d'argent et l'autre d'or, celui d'or seul devient rouge; si l'un est d'or et l'autre de cuivre, ils rougissent tous deux; si l'un est de fer, l'autre de platine, le premier coule et le second devient rouge-blanc; s'ils sont de platine et de zinc, le platine devient rouge-blanc et le zinc ne change pas; les fils étant l'un de fer, l'autre de zinc, celui de fer coule et celui de zinc demeure stationnaire; s'ils sont de zinc et d'argent, le zinc devient rouge et coule, mais l'argent ne change pas. Lorsqu'un fil est composé de plusieurs métaux, attachés les uns au bout des autres, c'est toujours aux points d'attache que se manifeste l'incandescence; et si les métaux sont de nature différente, ce sont les métaux les moins conducteurs qui s'échauffent et rougissent les premiers. Quand on fait communiquer les deux pôles de la pile par une tige de plante grasse, elle s'échauffe tellement que, l'eau qu'elle renferme, finit par entrer en ébullition, parce que le liquide qu'elle contient est séparé par de nombreuses cloisons végétales.

Effets chimiques. On obtient la décomposition de l'eau et la décompositon d'un grand nombre de substances. On est parvenu, au moyen d'un courant galvanique, à produire sur des plaques de différents métaux des dessins réguliers colorés des teintes les plus vives; on a même réussi a frapper des médailles par ce procédé.

PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-DYNAMIQUES ET THERMO-ÉLECTRIQUES.

En 1819, M. Oersted découvrit qu'un conducteur, à travers lequel passe un courant électrique, fait dévier l'aiguille aimentée. Les différents savants, qui ensuite ont traité cette matière, obtinrent, au moyen de l'électricité galvanique, tous les phénomènes produits par les appareils d'aimantation. Par exemple, si, au moyen de deux fils métalliques, l'on fait communiquer les deux pôles d'une pile aux deux pôles d'un fer à cheval en fer doux, il se développe une telle puissance d'aimantation, que le fer doux a soutenu des poids de 1200 et même de 2000 livres. Si l'on soustrait les fils au contact du fer à cheval, il perd à l'instant sa faculté d'attraction; et, réciproquement, l'on est parvenu au moyen d'un appareil d'aimantation à produire tous les effets du galvanisme. Cet appareil est composé d'un fer a cheval d'une grande dimension en acier par plusieurs lames concentriques; à l'ex-

trémité du fer se trouve deux cylindres de fer doux qui tournent sur leur axe, et sur lesquels s'enroule un fil de métal recouvert d'un fil de coton ; les deux extrémités de ce fil communiquent avec le fer à cheval et une aiguille qui, tournant sur l'axe des cylindres, plonge dans le mercure. Au moyen de cet appareil on a obtenu, comme avec la pile galvanique, la décomposition de l'eau, la fusion des métaux, l'inflammation du charbon, l'étincelle électrique.

Poissons électriques. Il existe plusieurs poissons qui jouissent de la propriété singulière de produire quand on les touche une sensation semblable à la décharge d'une bouteille de Leyde ; on en connaît aujourd'hui sept espèces. Une d'elles, la torpille, est assez répandue dans toute la Méditerranée et sur les côtes occidentales de la France.

L'organe des poissons électriques est peu connue, et sa manière d'agir l'est encore moins ; ses effets paraissent cependant analogues à ceux d'une pile à un grand nombre d'éléments.

MAGNÉTISME.

Phénomènes généraux. Les minérais de fer ont la propriété d'attirer le fer, le nickel, le cobalt ; on les désigne sous le nom d'aimants naturels ou de pierres d'aimants.

Lorsque l'on plonge un aimant dans de la limaille de fer, elle y adhère et cette dernière se précipite même sur lui, à une petite distance. Cette attraction à lieu dans le vide comme dans l'air et à travers les corps solides. Car si l'on promène un aimant au-dessous d'un carton, sur lequel se trouve répandue de la limaille de fer, on verra la limaille se mouvoir sur la surface du carton et y former des courbes régulières, qui toutes se dérigent vers les deux pôles de l'aimant, et si, sous le récipient de la machine pneumatique, l'on suspend un fil de fer par un fil de soie, et, qu'après avoir fait le vide, l'on présente en dehors un aimant, le fil de fer est attiré par l'aimant.

Lorsqu'on a plongé un aimant dans de la limaille, l'on s'aperçoit que la limaille ne s'est pas distribuée uniformement sur toute sa longueur, mais qu'elle s'est portée en plus grande quantité vers les extrémités, là où paraît résider d'avantage la force magnétique : on appelle ces deux points les deux pôles d'un aimant. L'action de l'aimant va en s'affaiblissant jusqu'au centre de l'aimant où elle est nulle. Si l'on coupe cette aimant a peu près vers le milieu, il se forme un nouvel aimant qui a ses deux pôles, et en quelques parties que l'on réduise des aimants, chacune des parties aura toujours ses deux pôles.

Si l'on suspend un aimant au moyen d'un fil vertical par son milieu, et de manière qu'il se trouve horizontalement dans toute sa longueur, la ligne des deux pôles se dirige sensiblement parallèlement au méridien, ou ce qui est la même chose, à peu près du Nord au Sud ; si on l'écarte de cette position, après qu'on l'a laissé à sa liberté, il revient à ce point primitif.

Lorsque l'on suspend deux aimants à deux fils de la même manière que le précédent, on s'aperçoit que, si l'on présente les pôles de l'un aux pôles de l'autre, dans une circonstance ils s'attireront, et que dans

une autre ils se repousseront ; l'on remarquera que les pôles de l'un et de l'autre qui se tournent vers le Nord se repoussent ainsi que l'un et l'autre pôle qui se tournent vers le Sud, tandisque le pôle de l'un qui se tourne vers le Nord attire celui de l'autre qui se tourne vers le Sud ; ces effets sont analogues à ceux de l'électricité ordinaire.

Communication de la vertu magnétique. Lorsque le fer est en contact avec l'aimant, ce dernier acquiert la propriété magnétique. Placez un petit barreau de fer doux à une petite distance d'un aimant, et dont toute la longueur sera parallèle au prolongement de l'aimant, recouvrez ensuite également l'aimant et le barreau d'un morceau de carton sur lequel est répandue de la limailles de fer, vous voyez non-seulement la limaille se diriger vers les deux pôles de l'aimant, mais aussi vers les deux extrémités du barreau de fer. Ensuite, si vous enlevez l'aimant de dessous le carton et que vous laissiez le reste au même état, le même phénomène ne se réproduit plus, ce qui prouve que le fer a été magnétisé par influence, et qu'aussitôt qu'il est laissé à lui-même, il perd sa faculté magnétique, comme un conducteur isolé non-chargé d'électricité, mais électrisé par influence, à l'approche d'un conducteur isolé électrisé perd aussitôt sa faculté électrique, lorsqu'on l'a soustrait à l'influence du corps électrisé.

On peut encore faire l'expérience suivante pour prouver que le fer s'aimante par influence ; on met une des extrémités du barreau de fer en contact avec un aimant et l'on plonge l'autre dans de la limaille, qui y adhère, comme au pôle d'un aimant naturel. La limaille ne sera point attirée vers le milieu du barreau, mais elle le sera de plus en plus à mesure qu'on ira vers les extrémités.

Le fer contient donc comme l'aimant les deux fluides magnétiques, mais ces fluides y sont combinés de manière à se neutraliser. Lorsqu'il est mis en présence d'un aimant, ces deux fluides sont séparés, celui de même nature que le pôle de l'aimant avec lequel il est en contact est repoussé à l'autre extrémité, et celui de nature contraire en est attiré.

Une propriété singulière du magnétisme, c'est qu'il ne se transmet pas et ne se perd pas par le contact comme l'électricité ordinaire et qu'il ne peut sortir du corps ou il se trouve répandu.

L'acier ne prend pas comme le fer à l'instant du contact les propriétés magnétiques, il faut qu'un barreau d'acier touche pendant assez long-temps un aimant pour que la séparation des deux fluides s'opère. Mais quand une fois il a acquis cette propriété magnétique, il ne la perd pas comme le fer, il la conserve longtemps et d'autant plus longtemps qu'il a mis plus de temps à l'acquérir. On peut aimanter l'acier plus rapidement, en le frottant toujours dans le même sens avec le même pôle d'un aimant. L'acier s'aimante d'autant plus difficilement qu'il est plus fortement trempé ; mais des aciers d'une forte trempe peuvent conserver, sans altération sensible, pendant des siècles la vertu magnétique qu'on leur aura communiquée. La cause, quelle qu'elle soit, qui s'oppose à ce que l'acier ne puisse s'aimanter instantanément, et qui l'empêche ensuite de perdre cette force acquise d'aimantation, porte le nom de *force coërcitive.*

L'acier, le fer et l'aimant naturel, qui n'est autre chose qu'une combinaison de fer et d'oxigène, sont des substances magnétiques. La

plupart des substances, avec lesquelles le fer se trouve combiné, exercent une action sensible sur les aimants. Le nickel et le cobalt, métaux découverts dans le dernier siècle, sont dans le même cas que le fer, c'est-à-dire, qu'ils acquièrent à l'instant du contact avec un aimant, mais qu'aussitôt qu'on a éloigné l'aimant, ils perdent la vertu magnétique ; cependant, ces substances, à l'état de pûreté, conservent cette vertu magnétique, mais leur faculté à conserver cette vertu est augmentée par le mélange des substances étrangères, tels que du phosphore, de l'arsenic, ou de l'étain ; et par la trempe.

Points conséquents. Il arrive quelquefois que lorsque les aiguilles ou les barreaux aimantés sont très longs, ils renferment plus de deux pôles et souvent un très-grand nombre de pôles intermédiaires à ceux qui existent aux deux extrémités ; ce sont ces pôles intermédiaires que l'on désigne sous le nom de *points conséquents.* Il est facile de vérifier leur position sur un barreau aimanté, en le plongeant dans de la limaille de fer ; la limaille se porte plus abondamment aux extrémités du barreau ; mais on la voit aussi se grouper en plus grande quantité sur certains points que sur d'autres ; ces points sont les points conséquents ou pôles intermédiaires. Il est très-important d'éviter les points conséquents, car leur présence dans les aiguilles de boussoles, diminue leur force de direction, et dans certaines circonstances peut les rendre complètement inexactes.

Action magnétique de la terre. Si l'on suspend horizontalement sur un pivot libre une aiguille non-aimantée, et qu'on lui fasse prendre n'importe quelle position dans ce plan horizontal, elle y demeurera ; mais il n'en est pas de même de l'aiguille aimantée, comme nous l'avons déjà dit, quelque position qu'on lui fasse prendre, elle finira toujours par prendre la même direction, et se tournera toujours vers un même point de l'horizon, que l'on désigne sous les noms de *déclinaison* et *d'inclinaison.* Le même phénomène se reproduit partout, au pôle comme à l'équateur, sur les plus hautes montagnes, dans les profondeurs de la terre, dans l'atmosphère même à de très-grandes hauteurs, comme l'ont reconnu MM. Gay-Lusac et Arrago. Il y a donc une force magnétique qui fait sentir son action sur tous les points de la terre, mais dont la plus grande puissance se trouve a peu près vers les pôles de rotation ; et, en admettant les deux fluides magnétiques séparés et repoussés aux deux extrémités dans un même aimant, le fluide boréal abonderait autour du pôle Nord et le fluide austral autour du pôle Sud, ayant sa ligne moyenne a peu près vers l'équateur de la terre.

Boussole. Les instruments dont on se sert pour observer la déclinaison portent le nom de *boussoles.* La boussole marine ou compas de variation est une aiguille aimantée, montée sur un pivot libre, ayant la forme d'un losange (fig : 51.) et lestée à une de ses extrémités de manière à se tenir horizontale ; au-dessus de l'aiguille est un cercle gradué qui se meut avec l'aiguille et qui porte la fleur d'indication du pôle Nord. L'instrument est disposé de manière que, quelle que soit l'agitation du vaisseau, l'aiguille et le cercle qu'elle porte demeurent toujours dans la position horizontale.

La boussole, suivant le rapport des missionnaires Jésuites, parait avoir été en usage chez les Chinois longtemps avant qu'elle fut connue en Europe. L'usage que l'on commença à en faire en Europe, date de l'an 1150, mais elle ne fut généralement employée qu'en 1300.

On doit placer la boussole bien loin des masses de fer qui se trouvent sur le vaisseau ; car les masses de fer qui entrent dans la construction ou dans la charge des vaisseaux exercent sur l'aiguille aimantée une action considérable, qui va même quelquefois de 15 à 20 degrés. Cette déviation de l'aiguille peut être due à trois causes, 1°. à la décomposition des fluides magnétiques que l'aiguille peut opérer dans les substances ferrugineuses qui l'entourent ; 2°. par l'état permanent d'aimantation où peuvent se trouver ces corps en vertu de leur force de coërcition, c'est-à-dire, à la faculté qu'elles ont de conserver l'attraction magnétique après qu'elles l'ont une fois acquise ; 3°. par l'état magnétique variable qu'elles prennent par l'influence du magnétisme de la terre.

Les deux premières causes sont de peu d'importance et l'on parvient à neutraliser l'effet de la première, en plaçant l'habitacle à une grande distance des masses de fer du navire.

La troisième cause est beaucoup plus puissante que les deux autres, et ses effets sont sans cesse variables, parce que tous les corps magnétiques du navire, changeant de position par rapport à l'axe magnétique de la terre avec la position du navire, deviennent, parconséquent, des aimants dans lesquels l'intensité magnétique et la position des pôles changent continuellement, quand le navire tourne sur lui-même, et dont les variations sont encore modifiées, lorsque le navire est en marche, par les changements de direction et d'intensité du couple terrestre. Cependant on n'est pas encore parvenu à résoudre d'une manière satisfaisante ce problême de variation magnétique de la boussole sur un vaisseau.

Variations de l'aiguille de déclinaison. L'aiguille de déclinaison, outre les variations dont nous avons parlé, et que l'aiguille éprouve par des changements de lieu, et dans le même lieu à de grands intervalles, est aussi sujette à des variations quelquefois régulières et périodiques, d'autres brusques et accidentelles. On désigne les premières sous le nom de *variations diurnes* et les secondes sous celui de *perturbations*.

Variations diurnes. C'est entre midi et trois heures du soir qu'a lieu le maximum de la déclinaison ; l'aiguille reste alors stationnaire ; mais elle se rapproche ensuite du méridien jusque vers les huit heures du soir, et reste stationnaire toute la nuite. A huit heures du matin, elle recommence à décliner et n'arrive encore à son maximum de déclinaison qu'entre midi et trois heures du soir.

Les plus grandes variations diurnes ont lieu entre les équinoxes du printemps et de l'automne, et les plus petites ont lieu en hiver. L'étendue des variations change avec les lieux. Les plus grandes sont à Paris de 13 à 16 minutes, et les plus petites sont de 8 à 10. Plusieurs physiciens ont remarqué que, pour les mêmes heures du jour, la pointe Nord de l'aiguille marche vers l'Est, depuis l'équinoxe du printemps jusqu'au solstice d'été, et vers l'Ouest le reste de l'année.

Les mêmes variations ont lieu, exactement en même temps, au fond des caves de l'observatoire, à plus de 80 pieds au-dessous du sol.

En s'avançant vers le Nord, on trouve que les variations sont plus grandes et moins régulières ; l'aiguille ne reste point stationnaire pendant la nuit, et c'est seulement vers le soir qu'elle atteint son maximum de déviation vers l'occident.

Si l'on s'approche de l'équateur, l'on voit décroître les variations diurnes, qui deviennent nulles à l'équateur magnétique.

Les mêmes variations diurnes ont lieu de l'autre côté de l'équateur magnétique, et la pointe Sud de l'aiguille marche vers l'Est aux mêmes heures précisément que dans l'autre hémisphère elle marche vers l'Ouest.

Perturbations. La boussole de déclinaison est quelquefois dérangée de sa position et troublée dans ses variations diurnes par plusieurs causes accidentelles ; une des plus influentes est l'apparition d'une aurore boréale. Pendant toute la durée de ce météore, qui dure quelquefois de 10 à 12 heures, l'aiguille éprouve des agitations continuelles et des déviations souvent considérables. Cet effet se reproduit à de grandes distances du lieu, d'où l'on peut apercevoir le phénomène ; mais l'agitation de l'aiguille et sa déviation est d'autant plus grande que l'on est plus rapproché du lieu où se développe l'aurore boréale. Les tremblements de terre, les éruptions des volcans paraissent agir sur l'aiguille aimantée. Quand la foudre tombe sur les corps aimantés ou dans leur voisinage, elle altère leur état magnétique et souvent renverse leurs pôles, de sorte que le pôle Nord tourne vers le Sud et que le pôle Sud tourne vers le Nord ; car on a vu des boussoles de navire éprouver subitement une déviation d'une demi-circonférence par l'effet de la foudre.

On n'est pas encore parvenu à constater de variation dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée dans un même lieu.

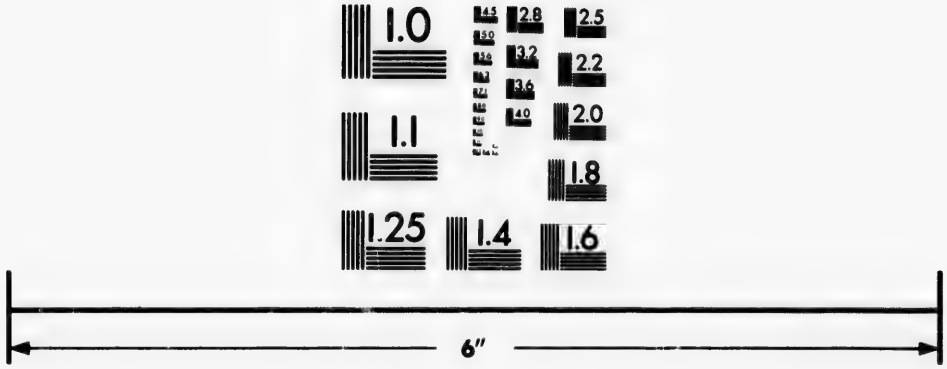
De l'aimantation. Les méthodes d'aimantation directe sont au nombre de deux que l'on désigne sous les noms de *simple touche* et de *double touche.*

Simple touche. Pour aimanter un barreau d'acier par cette méthode l'on promène lentement sur ce barreau, en commençant par une extrémité et en allant jusqu'à l'autre, un barreau aimanté fortement, toujours par le même pôle ; on réitère plusieurs fois cette friction et toujours de la même manière. Cependant, ce procédé d'aimantation offre deux grands inconvénients, d'abord, parcequ'il est sujet à faire naître des points conséquents, et, ensuite, parcequ'il ne développe qu'une faible puissance d'attraction magnétique.

Double touche. Le développement du magnétisme, obtenu par la *double touche*, est incomparablement plus puissant que celui que l'on obtient par la méthode précédente. L'on promène sur le barreau à aimanter les deux pôles opposés de deux barreaux aimantés du milieu jusqu'à l'extrémité droite, puis de là jusqu'à l'autre extrémité. L'on revient jusqu'au milieu où l'on enlève les deux aimants inclinés. (fig : 52.)

Si le barreau n'est pas aimanté à saturation, on recommance la friction jusqu'à ce qu'il le soit. L'on a soin, pendant l'opération, d'ar-

IMAGE EVALUATION
TEST TARGET (MT-3)



Photographic
Sciences
Corporation

23 WEST MAIN STREET
WEBSTER, N.Y. 14580
(716) 872-4503

1.0
2.8
2.5
3.2
3.6
2.2
4.0
2.0
1.8
1.6
1.1
1.0

mer les deux extrémités de fers doux ou de forts aimants. Si l'on veut augmenter la force d'un aimant il n'y a qu'à y suspendre, pendant quelque temps, le plus fort poids qu'il puisse supporter, puis ajouter successivement plusieurs petits poids.

Si l'on suspend une petite boule de fer au pôle d'un aimant, on pourra en suspendre une autre à la première, et plusieurs autres, en raison de la force de l'aimant; cela provient de ce que le fluide de l'aimant développe et partage les fluides de la première petite boule, de sorte qu'elle a à son tour deux pôles, et qu'elle peut exercer la même puissance sur celle qui la suit, et de même pour les autres.

Faisceaux magnétiques. Lorsque l'on réunit ensemble, et parallèlement, plusieurs barreaux aimantés par les mêmes pôles, l'on obtient un effet beaucoup plus puissant, qui n'est cependant pas égal à la somme des puissances de chaque barreau séparé, parce que l'action qu'exercent les barreaux les uns sur les autres tend à diminuer cet effet. On donne le nom d'*armure* au morçeau de fer doux que l'on suspend à l'aimant, pour lui conserver sa vertu magnétique et pour y recevoir au moyen de son armure les poids dont on veut charger l'aimant. L'on donne très-souvent à cet aimant la forme d'un fer à cheval, (fig: 53.) On est parvenu au moyen de cet appareil à soulever des poids de 50 livres et beaucoup plus.

LUMIÈRE.

La lumière est la cause de la vision. Les physiciens ne sont pas d'accord sur la manière dont elle se produit. Descartes suppose que l'univers est rempli d'un fluide extrêmement subtil et élastique, désigné sous le nom d'*éther*; que les corps lumineux éprouvent par une cause quelconque des vibrations, qui se transmettent à travers l'éther comme les ondes sonores à travers l'air; et que les effets produits sur l'œil sont analogues à ceux produits sur l'organe de l'ouie par les ondes sonores. Newton admet au contraire, qne la lumière se produit par une émission de particules, lancées par les corps lumineux, continuellement dans toutes les directions. La nature de cet ouvrage ne nous permet pas d'entrer dans l'explication de ces deux systèmes, qui ne font rien aux phénomènes; mais nous croyons devoir dire que le système des émissions est abandonné tous les jours par les physiciens, et que l'on retourne à celui des ondulations.

On appelle corps *diaphanes*, *translucides* ou *transparents*, les corps qui se laissent traverser par la lumière, tels sont l'air, l'eau, le verre, &c., et *corps opaques*, ceux que la lumière ne pénètre pas, comme les métaux, les bois, les pierres, &c.

Cependant au rapport des physiciens, il n'y a pas de corps parfaitement translucides, de même qu'il n'y a pas de corps parfaitement opaques; les premiers font toujours perdre une quantité plus ou moins grande de lumière, et les seconds en laissent passer une quantité plus ou moins grande; ce que l'on peut prouver d'une manière sensible par les bois et les pierres en les réduissant à une petite épaisseur. Il est probable que la même chose à lieu pour les métaux, mais avec une si faible n tensité qu'elle est inappréciable à la vue de l'homme.

Transmission. Dans un milieu homogène, c'est-à-dire, dans un espace qui est le même dans toute son étendue, la lumière se transmet en ligne droite. En effet, si, dans une chambre obscure, l'on fait pénétrer à travers un petit orifice un faisceau * de lumière solaire, on voit la marche directe de la lumière au moyen de la poussière en suspens dans l'appartement ; et si l'on interpose un corps opaque dans la direction de la lumière, et que l'on a l'œil placé dans cette direction on n'aperçoit plus la lumière.

L'intensité de la lumière décroit comme le carré de la distance au point lumineux, c'est le même principe que pour le son et le calorique.

Vitesse de la lumière. La lumière ne se transmet pas instantanément du corps lumineux au corps qu'elle éclaire, elle met un certain temps à y parvenir ; mais, comme cette vitesse est très-grande, on ne peut pas l'observer à la surface de la terre où les distances sont trop petites, il faut donc avoir recours aux observations astronomiques. Jupiter est accompagné de plusieurs satellites qui font continuellement leur révolution autour de lui, et qui, parconséquent, s'éclipsent souvent, en plongeant dans l'ombre de la planète. Le premier de ces satellites fait sa rotation autour de Jupiter dans 42 heures et demie. Si l'on observe le moment de l'éclipse de ce satellite par son entrée dans le cône d'ombre projeté derrière la planète, il est clair que cette éclipse aura eu effectivement lieu avant qu'on l'ait aperçue de tout le temps que la lumière aura mis a venir de Jupiter jusqu'à nous. Si la distance était constamment la même entre la terre et Jupiter, les éclipses arriveraient nécessairement tous les 42 heures et demie ; mais lorsque la terre et Jupiter sont en opposition, c'est-à-dire, lorsque le soleil se trouve placé entre ces deux planètes, l'instant de l'éclipse est retardé, et il n'arrive que 16 minutes et 26 secondes après le moment où il a coutume d'arriver lorsque la terre se trouve entre le soleil et Jupiter, c'est-à-dire, 69 millions de lieues environ plus près de Jupiter. Cette différence dans les éclipses du satellite est donc évidemment due à ce surplus d'espace que la lumière a à parcourir lorsque la terre est en opposition avec le soleil. Or, comme cet espace est le diamètre du cercle de rotation de la terre autour du soleil, et que la lumière parcourt ce diamètre en 16 minutes et 26 secondes, elle viendra donc du soleil à nous en 8 minutes et 13 secondes. En divisant ensuite le nombre de lieues qui se trouvent entre le soleil et la terre par le nombre de secondes que la lumière met à venir du soleil jusqu'à nous, on trouve que la lumière parcourt dans une seconde plus de 70,000 lieues, c'est-à-dire, que dans une seconde de temps, elle peut faire plus de sept fois le tour du monde. Voilà pourquoi l'on voit toujours la lumière d'un canon avant que d'en entendre le coup. Nulle vitesse sur la terre ne peut lui être comparée. L'oiseau le plus rapide, allant toujours avec la même vitesse, mettrait trois semaines à faire le tour du globe, et pendant que la lumière avait parcouru 70,000 lieues, l'oiseau n'a pas eu le temps de faire un simple battement

* On appelle faisceau de lumière un assemblage de rayons lumineux, et l'on désigne sous le nom de *rayon lumineux* chaque ligne droite menée d'un point du corps lumineux à l'œil.

d'aile. Un boulet de canon, allant toujours avec la même vitesse qu'à son départ, mettrait 17 ans à se rendre au soleil, et cependant, la lumière vient du soleil à nous en 8 minutes et 13 secondes.

Ombre. Si, a quelque distance de la terre, l'on présente un corps opaque au regard du soleil, l'on verra sur le sol un espace que n'ont pas pénétré les rayons du soleil ; on appelle *ombre* cette privation des rayons lumineux. Elle sera d'autant plus grande que le corps lumineux sera plus petit et le corps opaque plus gros et plus près du corps lumineux.

Pénombre. La séparation de l'ombre projetée par le corps lumineux d'avec la lumière n'est jamais tranchée brusquement, les bords de l'ombre sont pénétrés par les rayons de lumière, qui viennent seulement d'une partie du corps lumineux. L'ombre devient d'autant moins obscure que l'on s'approche de ses extrémités, parce qu'alors, il y a plus de rayons lumineux qui la pénètrent ; cette partie de l'ombre, qui n'est pas entièrement soustraite aux rayons de la lumière, s'appelle *pénombre.*

Si, dans un écran, l'on perce une ouverture d'une forme quelconque, et que l'on mette une lumière en regard de cet orifice, pourvu que la lumière soit assez éloignée de l'écran, l'image qui se formera derrière cet écran sur un autre écran, placé derrière le premier, aura la forme de la lumière ; vous pouvez en faire l'expérience avec une chandelle allumée, vous verrez que la lumière, dont les rayons ont passé à travers l'orifice, s'est reproduite sur la muraille, ou sur un écran que l'on a disposé exprès. Voilà pourquoi les rayons solaires, qui pénètrent à travers les intervalles des feuilles forment sur le sol des images circulaires ou ovales suivant qu'il frappe plus perpendiculairement ou qu'il darde des rayons inclinés, voilà pourquoi aussi que durant les éclipses les images de la lumière prennent la forme de la partie éclairée du soleil.

Réflexion. Lorsque la lumière rencontre des corps polis, on la voit se briser sur leur surface, et être renvoyée par eux ; cette déviation et ce retour de la lumière vers le milieu qu'elle avait d'abord pénétré, portent le nom de *réflexion.*

Pour que la surface d'un corps réfléchisse régulièrement la lumière et donne une image distincte des points lumineux qui l'éclairent, il faut qu'elle soit polie. Maintenant, les seuls points que l'on apercevra de cette surface seront ceux qui renverront directement à l'œil les points lumineux qui les éclairent. Ainsi, plus il arrivera de rayons lumineux à l'œil des différents points de la surface d'un corps, plus il y aura pour l'œil de points visibles du corps. Pour qu'un corps donc soit vu dans toutes les parties de l'espace, il faut qu'il renvoie de la lumière dans toutes les directions. La raison pour laquelle un corps devient plus obscure à mesure qu'on s'en éloigne est maintenant facile à saisir, c'est que les rayons lumineux divergent dans toutes les directions, et que plus la distance est grande, moins il arrive à l'œil de ces rayons.

Outre la réflection régulière de la lumière que nous venons d'énoncer, il y a un grand nombre de rayons lumineux réfléchis dans toutes les directions ; cela vient de ce qu'un corps ne peut jamais présenter une surface parfaitement polie, et qu'il existe sur tous les corps des

aspérités plus ou moins grandes, que l'on peut considérer comme des surfaces polies qui rejettent la lumière dans toutes les directions, et qui rendent ainsi le corps visible dans les parties de l'espace où ne pénètrent pas les rayons réfléchis régulièrement. Ainsi, lorsque l'on place un petit miroir dans une chambre obscure sur lequel frappe un rayon solaire, si toute la lumière était réfléchie régulièrement, on ne pourrait apercevoir le miroir que dans le cas ou l'œil serait placé dans la direction du rayon réfléchi, encore ne verrait-on que l'image du soleil ; mais comme dans un miroir on n'obtient jamais un poli parfait, la divergence des rayons irrégulièrement réfléchis dans tous les sens produit le même effet que si le miroir était de lui-même lumineux. Cette réflexion irrégulière qui existe à la surface des corps est donc essentiellement nécessaire à leur visibilité ; car, s'ils ne réfléchissaient la lumiere que directement, l'œil ne pourrait apercevoir que l'image des corps lumineux qui éclaireraient ces corps, mais ne pourrait voir ces corps eux-mêmes, à moins qu'ils ne fussent eux-mêmes des corps lumineux.

On appelle *angle d'incidence* l'angle qui est formé par l'inclinaison sous laquelle tombe un rayon lumineux sur une surface et par la perpendiculaire qui passe par le point de la surface ou tombe le rayon, et on désigne sous le nom d'*angle de réflexion*, l'angle formé par la même perpendiculaire et par l'inclinaison sous laquelle se réfléchit le rayon lumineux.

Le *rayon incident* et le *rayon réfléchi* sont situés dans un même plan qui est perpendiculaire à la surface sur laquelle se réfléchit le rayon lumineux, et l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence. Cela à lieu même pour les corps qui ne sont pas polis, parceque toutes les aspérités qui se trouvent à leurs surfaces, sont toutes des surfaces polies plus ou moins petites, sur lesquelles se réfléchit la lumière de la même manière que sur de plus grandes surfaces.

Miroir plan. Lorsqu'un objet est réfléchi sur un *miroir plan*, l'image que l'œil aperçoit parait derrière le miroir à une distance égale à celle qui se trouve entre l'objet réfléchi et la surface du miroir. Soit MM' (fig : 54.) un miroir plan horizontal, AB un objet quelconque placé au devant du miroir, P l'ouverture de la prunelle, l'angle de réflexion étant toujours égal à l'angle d'incidence, comme nous l'avons vu tout à l'heure, les rayons qui partent de l'objet AB se réfléchiront en P ; et comme l'œil reporte toujours l'objet à l'extrémité du rayon qui le lui apporte, il verra l'objet en *ab*. Pour avoir le lieu de l'image de chacun des points de l'objet AB il suffit de chacun de ces points d'abaisser des perpendiculaires sur le miroir et de les prolonger derrière le miroir à une distance égale à celle de chacun de ces points à la surface du miroir ; l'image sera de la même grandeur que l'objet.

Il suffit qu'un miroir plan soit la moitié moins grand qu'un objet pour qu'on puisse y voir son image toute entière ; ainsi un homme de six pieds peut voir son image complète dans un miroir de 3 pieds. En effet, soit PQ (fig : 55.) un miroir, CD un objet d'une grandeur double de celle du miroir, les rayons C*f* et D*g* se réfléchiront, en *o* en fesant toujours l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, et, comme

nous l'avons déjà dit, l'œil reportant l'objet à l'extrémité du rayon qui le lui apporte, il le verra en *c* et en *d*; ainsi un homme de six pieds peut se voir tout entier dans un miroir de trois pieds.

Lorsque le miroir est courbe, l'image n'est pas égale à l'objet ; elle est plus grande pour les miroirs *concaves* et plus petite pour les miroirs *convexes*.

Miroirs convexes. Lorsqu'un faisceau de rayons parallèles tombe sur un miroir sphérique *convexe*, de manière à ce que le centre du faisceau soit sur la même ligne droite que le rayon du cercle dont ce miroir fait partie, les rayons sont dispersés ; BM et GN étant deux rayons incidents, les rayons réfléchis seront MD et NE, et l'œil reportant toujours l'objet à l'extrémité du rayon qui le lui apporte, ces rayons iront se joindre en F, que l'on nomme foyer principal du miroir ; mais les rayons réfléchis ne se réunissent au foyer principal que lorsque le faisceau de rayons incidents est très-étroit, autrement ils s'uniraient en un point appelé foyer conjugué situé entre le foyer principal et la surface du miroir. C'est donc au foyer principal, qui se trouve derrière le miroir à la moitié du chemin entre le centre *c* du cercle et la surface du miroir, que se trouve l'image de l'objet ; et les rayons étant tous concentrés au foyer principal, l'image sera nécessairement plus petite que l'objet lui-même.

Miroirs concaves. Lorsqu'un miroir est *concave*, le foyer principal se trouve placé en avant du miroir, mais à la même distance, si dans les deux cas le miroir fait partie d'un même cercle. Dans le miroir concave on doit distinguer la position du point lumineux. : 1°. s'il est plus éloigné du miroir que le foyer principal, l'image est formée devant le miroir ; elle se confond avec le point lumineux lorsque celui-ci est au centre de la sphère ; elle est plus près du miroir que le centre, lorsque le point lumineux est plus éloigné ; elle est au contraire plus éloignée que le centre, lorsque le point lumineux est placé entre le foyer principal et le centre, et dans tous ces cas l'image est renversée ; 2°. si le point lumineux est au foyer principal, il n'y a pas d'image formée, car tous les rayons réfléchis sont parallèles, et parconséquent, ne se réunissent nulle part ; 3°. si le point lumineux est entre le foyer principal et le miroir, l'image se forme derrière le miroir ; elle est plus grande que l'objet lui-même et elle est droite.

Réfraction. On désigne sous le nom de *réfraction* la déviation de direction qu'éprouve un rayon de lumière lorsqu'il passe du vide dans un milieu diaphane ou translucide ou d'un milieu diaphane dans un autre plus dense ; le rayon, (fig : 56.) pénétrant dans un milieu plus dense, s'approche de la perpendiculaire à la surface, et, en passant d'un milieu plus dense dans un milieu moins dense, il tend à s'en éloigner. On peut reconnaître le fait de cette déviation de la manière qui suit : on met au fond d'un vase (fig : 57.) un corps A, et l'on se place en M de manière à voir le corps tangent au bord du vase ; ensuite si l'on introduit de l'eau dans le vase, le corps parait s'élever vers la surface, et il faut que l'œil se mette en N pour qu'on puisse encore le voir tangent au bord du vase. Cet effet provient évidemment de ce que le rayon AD s'incline fortement pour passer de l'eau dans l'air qui est un milieu bien moins dense.

Lorsqu'un rayon de lumière passe d'un milieu dans un autre, quelque soit le plus ou moins grand degré de densité de ce milieu, le rayon n'est jamais dévié de sa direction, pourvu que cette direction soit perpendiculaire à la surface du milieu dans lequel il pénètre.

Lorsqu'un rayon lumineux pénètre d'un milieu qui réfracte la lumière dans un milieu moins refringent ou dans le vide, il s'éloigne de la perpendiculaire comme nous l'avons vu, parconséquent, l'angle d'émergence, (de sortie) est plus grand que l'angle d'incidence ; et il vient un temps où le rayon ne pénètre pas à travers le milieu plus refringent, mais est réfléchi dans l'intérieur du milieu d'où il part ; c'est lorsque l'inclinaison d'incidence dépasse 90 degrés, limite d'inclinaison désignée sous le nom d'*angle limite*. On a remarqué le même phénomène en parlant du son produit dans l'eau, qu'on n'entendait plus à la surface extérieure lorsque le rayon sonore se présentait à notre oreille sous une trop grande inclinaison, parce qu'il était réfléchi à l'intérieur.

Nous venons de voir que lorsqu'un rayon lumineux tend à sortir d'un milieu refringent sous un angle plus grand que l'angle limite, il se réfléchit ; cette réflexion est totale, et dans ce cas, l'image réfléchie est beaucoup plus brillante que sur les corps qui possèdent le plus grand pouvoir réflecteur, tels que le mercure et les plaques métalliques dont le poli est le plus parfait.

Lorsque des rayons lumineux pénètrent du vide dans un milieu quelconque ou d'un milieu dans un autre plus réfringent, les rayons réfractés consécutifs, dans certaines directions, se coupent deux à deux, et les endroits où ils se coupent forment deux surfaces plus brillantes que les autres points de l'espace traversés par les rayons ; ces surfaces, analogues à celles que forment les rayons réfléchis sur un miroir courbe, portent comme elles le nom de *caustiques*, et les points où se terminent ces surfaces portent également le nom de *foyers*. Souvent ce sont seulement les prolongements des rayons réfractés qui se rencontrent, alors il n'y a pas de vrais foyers. Par exemple, quand un faisceau de lumière, émané d'un point situé à une distance finie, rencontre un corps refringent terminé par une surface plane ou concave, (fig : 58.) la divergence des rayons est seulement diminuée ; quand les rayons sont parallèles, ils restent parallèles lorsque la surface est plane, (fig : 59.) ils deviennent divergents quand elle est concave (fig : 60.) et dans aucun de ces cas il ne se forme de foyers réels : mais il s'en formerait même dans ces cas, si les rayons lumineux étaient déjà convergents avant que de rencontrer une surface plane ou concave, parce qu'ils ne perdraient pas assez de leur convergence pour devenir parallèles ou divergents. Si la surface du milieu était convexe, les rayons parallèles deviendraient nécessairement convergents et formeraient un foyer réel (fig : 61.) et s'ils partaient d'un point situé à une distance finie (fig : 62.) leur divergence serait diminuée et même les rayons réfractés pourraient devenir convergents et former aussi un foyer réel.

Lorsque les deux surfaces qui terminent le corps refringent sont deux surfaces planes inclinées AB et AC, (fig : 63.) le rayon incident *ab*, en se réfractant suivant *bc*, se rapproche de la perpendiculaire *bm*,

puisque, comme nous l'avons déjà vu, un rayon lumineux, en passant d'un milieu plus dense dans un autre qui l'est moins, tend à s'approcher de la perpendiculaire, parconséquent il s'éloigne du sommet A du prisme, et le rayon émergent *cd*, en s'éloignant de la perpendiculaire *cm*, puisque qu'un rayon qui passe d'un milieu plus dense dans un milieu moins dense s'éloigne de la perpendiculaire, s'éloigne encore du sommet A. Ainsi l'effet d'un milieu réfringent angulaire est d'éloigner le rayon divergent du sommet de l'angle.

Si la ligne AC (fig: 64.) tourne autour du point A, de manière à ce qu'elle se trouve successivement sur les lignes A*m* et A*n*, l'incidence du rayon réfracté *bc* sur la surface AC augmentera continuellement à mesure que l'angle A augmentera, il existera donc nécessairement une grandeur de cet angle pour laquelle tous les rayons arrivés par AB, quelque soit d'ailleurs leur incidence sur BA, se refléchiront sur AC au lieu d'aller au-delà.

Foyer des lentilles. On désigne sous le nom de *lentilles* des masses d'un corps diaphane terminées par des portions de sphères. On en connait de deux espèces, les lentilles convergentes et les lentilles divergentes; ainsi appellées par ce que les premières rapprochent les rayons qui les ont traversées, et que les dernières les éloignent. Les premières sont toujours plus épaisses au centre que vers les bords, les lentilles divergentes au contraire sont toujours plus minces vers le centre que vers les bords; la figure 65 présente toutes les formes de lentilles convergentes, la figure 66 toutes celles des lentilles divergentes. La lentille de la figure 65 *a* est doublement convexe, celle de 65 *b* convexe-concave, la figure 65 *c* plan-convexe; dans la figure 66 *a* est doublement convexe, *b* convexe-concave, et *c* plan-concave.

Lorsqu'un système quelconque de rayons traverse la lentille, les rayons émergents consécutifs dans certaines directions se coupent deux a deux et forment une surface caustique, comme les rayons réfléchis sur les miroirs courbes, et les sommets de ces caustiques sont appelés foyers. La détermination de ces foyers est d'une très-grande importance dans la construction d'un grand nombre d'instruments d'optique, parce que dans tous on n'emploie jamais que des lentilles dont les faces ne sont qu'une très-petite portion des surfaces sphériques dont elles font partie; alors on peut considérer tous les rayons qui les traversent comme se réunissant sensiblement au foyer. La position du point lumineux et le foyer de la lentille portent le nom de *foyers conjugués.*

On appelle foyer principal l'endroit derrière la lentille ou se réunissent les rayons qui étaient tombés parallèlement sur la lentille: on l'appelle aussi le foyer des rayons parallèles. Sa position dépend du pouvoir de réfraction de la substance de la lentille et des rayons des sphères qui terminent sa surface. Supposons d'abord que la lentille soit convergente, si le point lumineux est à l'infini, le foyer conjugué se trouve dernière la lentille et au foyer principal; à mesure que le point lumineux s'approche, le foyer conjugué s'éloigne de la lentille et se trouve a l'infini; lorsque le point lumineux est arrivé à la distance du foyer principal, si le point lumineux continue à s'approcher, le foyer revient du même côté que le point lumineux: il est alors

imaginaire, et à mesure que le point lumineux continue à s'approcher de la lentille, le foyer s'en approche d'avantage ; quand le point lumineux a atteint la lentille, le second y est arrivé. Pour une lentille divergente, lorsque le point lumineux est situé à l'infini, le foyer principal est du même côté, et par conséquent imaginaire, et à mesure que le point lumineux s'approche, le foyer se rapproche aussi de la lentille ; lorsque le point lumineux est arrivé à la distance du foyer principal, le foyer, toujours imaginaire, est à la moitié de cette distance ; si le point lumineux continue à s'approcher, le foyer conjugué arrive sur la lentille en même temps que le point lumineux.

Lorsqu'un corps lumineux envoie de la lumière à une lentille convergente, chacun de ces points a un foyer particulier, et l'ensemble de tout ces foyers forme dans l'espace une image du corps lumineux ; cette image est toujours renversée, comme on le voit dans la figure 67, parce que l'axe optique de chaque point sur lequel se trouve le foyer de ce point passe par le centre de la lentille. Ces images peuvent être rendues visibles en plaçant un carton ou un verre dépoli en leur lieu.

Décomposition de la lumière par réfraction. Jusqu'ici nous avons supposé que la lumière est simplement déviée de sa direction sans éprouver de division ; mais tel n'est pas le cas ; un rayon de lumière blanche, qui traverse un prisme, en sort dilaté et coloré ; ce phénomène porte le nom de *dispersion.* Le rayon réfracté est en général d'autant plus dispersé que le pouvoir refringent de la substance est plus considérable. Un rayon qui pénètre à travers les gaz est très-peu dispersé, mais il l'est beaucoup en passant à travers les liquides et les solides.

On peut s'assurer du phénomène dont nous venons de parler en fesant arriver, par un trou circulaire, percé dans le volet d'une chambre obscure, un faisceau de rayons solaires qui tombent sur un prisme de verre blanc bien transparent. En recevant ensuite sur un carton blanc les rayons qui, en traversant le prisme, ont été réfractés, on voit une image composée de diverses couleurs très-vives se succédant les unes les autres par des nuances insensibles, et parmi lesquelles on distingue les sept suivantes : *rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet.* Cette image que l'on nomme *spectre solaire,* allongée dans le sens perpendiculaire à la longueur du prisme, a ses bords terminés par deux lignes droites et ses extrémités par deux demi-cercles concentriques dont la lumière se fond par des gradations insensibles. La largeur de l'image n'est pas augmentée, c'est-à-dire qu'elle est la même que s'il n'y avait pas eu de réfraction, parce que la réfraction se produit toujours dans le plan de l'incidence du rayon sur un milieu quelconque ; mais l'allongement indique que les rayons n'ont pas été également réfractés. Les rayons rouges étant les moins déviés doivent être les moins réfrangibles ; les rayons violets sont les plus réfrangibles ; et les rayons qui occupent une position intermédiaire doivent avoir une réfrangibilité comprise entre celle des rayons violets et celle des rayons rouges.

Si on observe des spectres formés par des prismes de différentes substances, on reconnait que les différentes couleurs se succèdent

dans le même ordre, mais qu'elles n'occupent pas dans le spectre des espaces proportionnels. Ainsi, par exemple, un prisme de *flint glass* (verre renfermant du plomb) donne proportionnellement beaucoup plus de violet et beaucoup moins de rouge qu'un prisme de *crown glass* (verre ordinaire).

Lorsqu'on veut observer le spectre solaire pendant quelque temps, comme le mouvement du soleil change à chaque instant la direction du faisceau incident, on est obligé de déplacer souvent la lentille qui se trouve à l'ouverture du volet, ainsi que le prisme et le carton qui reçoit le spectre. Pour obvier à cet inconvénient on reçoit en dehors le rayon solaire sur un miroir métallique dont on fait varier la position de manière à avoir un rayon réfléchi de direction constante; cette variation peut s'obtenir par un mouvement d'horlogerie: l'appareil porte alors le nom d'*héliostat*.

Toutes les lumières artificielles que l'on peut produire donnent des spectres analogues à celui qui est produit par les rayons solaires, mais les couleurs sont moins vives, et dans toutes il manque certaines couleurs; cependant celles qui s'y trouvent sont disposées dans le spectre de la même manière que dans le spectre solaire.

Pour prouver maintenant que la lumière blanche est le résultat de la réunion de toutes les couleurs du spectre, il n'y a qu'à trouver moyen de réunir toutes ces couleurs; ce à quoi l'on parvient de la manière qui suit: on reçoit sur une lentille le spectre qui vient d'être dispersé par un prisme; on prend ensuite un carton découpé (fig: 68.) que l'on fait mouvoir entre la lentille et le spectre solaire de manière à intercepter successivement différentes bandes colorées; alors le carton placé au foyer de la lentille prend différentes nuances qui dépendent des rayons interceptés; mais, si on fait mouvoir rapidement le carton découpé, l'image du foyer devient blanche. Les sensations des différentes couleurs se produisent les unes après les autres, il est vrai; mais, comme la sensation, dans l'organe de la vision, a une certaine durée qui est a peu près d'un huitième de seconde, si, avec le carton découpé, on parcourt le spectre en moins de temps qu'un huitième de seconde, l'effet produit sera le même que si elles se produisaient en même temps sur toute l'étendue du spectre.

Newton appelle couleurs complémentaires celles qui étant réunies forment de la lumière blanche. Pour obtenir la couleur complémentaire d'une teinte quelconque, il a donné la règle suivante:— on décrit du point *c* (fig: 69.) comme centre un cercle, et on divise sa circonférence en sept parties proportionnelles aux nombre 1/9, 1/16, 1/10, 1/9, 1/10, 1/16, 1/9. Tous ces espaces ou secteurs du cercle, séparés les uns des autres par des rayons, sont considérés comme représentant les sept couleurs principales du spectre. Ce cercle ainsi divisé est très-propre à démontrer que la sensation de la lumière blanche est le résultat des sensations simultanées de toutes les nuances du spectre; en effet, si on couvre chacun des secteurs de la nuance qui lui correspond, en faisant mouvoir le cercle rapidement autour de son centre, on l'apercevra parfaitement blanc.

Propriété calorifique des rayons colorés. En réunissant alternativement au foyer d'une lentille les différents rayons colorés, et en y

plaçant un thermomètre, on a trouvé que les rayons rouges sont ceux qui renferment le plus de calorique, que les rayons violets sont ceux qui en renferment le moins, et que la quantité de chaleur contenue dans chaque rayon de couleur différente va décroissante depuis le rayon rouge jusqu'au rayon violet. Des physiciens ont trouvé que les rayons rouges contiennent 8 fois plus de chaleur que les rayons violets, d'autres 16 fois plus.

Propriétés chimiques des rayons colorés. La lumière solaire à une grande influence sur plusieurs phénomènes chimiques ; elle est nécessaire à la formation des parties vertes des plantes, elle détermine la combinaison du chlore et de l'hydrogène ; elle fait passer au violet le chlorure d'argent, &c. Mais cette propriété n'appartient pas également à tous les rayons ; les rayons violets agissent plus fortement sur le chlorure d'argent que les autres rayons, ils ont aussi plus d'influence sur le développement de la partie verte des végétaux. Mr. Bérard, après avoir concentré, au moyen de deux lentilles séparées, les rayons rouges et violets, trouva que le chlorure d'argent placé au foyer des rayons violets était coloré en moins de cinq minutes, tandisque celui qui était placé au foyer des rayons rouges n'avait pas après deux heures éprouvé d'altération sensible.

Propriétés éclairantes. Herschell a trouvé que les rayons jaunes et verts sont ceux qui renferment le plus de lumière, et qu'elle va diminuante jusqu'au rouge et au violet, où elle est à son minimum.

Double réfraction. Tous les cristaux transparents qui ne sont ni des cubes ni des octaèdres réguliers jouissent de la propriété de donner deux images des objets, lorsqu'on les regarde à travers leur épaisseur ; on donne le nom de *double* réfraction à ce phénomène qui indique que les rayons en passant à travers ces substances se divisent en deux parties.

La chaux carbonatée, (spath d'Islande) sous la forme de rhomboïde, est de toutes les substances connues celle qui produit ce phénomène avec le plus d'énergie.

Si l'on place un rhomboïde de chaux carbonatée, comme l'indique la figure 70, sur un papier où l'on aura tracé des points et des lignes, en les regardant à travers le cristal on apercevra deux images, quelque soit la position que l'on donne d'ailleurs au cristal ; ainsi donc chaque rayon se divise en deux faisceaux distincts. Un de ces faisceaux suit les lois ordinaires de la réfraction, et l'autre suit des lois particulières ; le premier porte le nom de *rayon ordinaire*, et le second celui de *rayon extraordinaire.*

Polarisation. Jusqu'ici on avait vu que quand on conserve à une surface quelconque l'angle qu'elle présente à la lumière qui se réfléchit sur elle, qu'on la tourne de la manière que l'on voudra, elle réfléchira toujours la même quantité de lumière ; il en est de même pour la réfraction et la double réfraction. Mais il n'en est pas toujours ainsi ; dans certaines circonstances, les rayons de lumière aquièrent la singulière propriété d'être inégalement réfléchis et réfractés, quoique sous un même angle d'incidence avec un même corps. Il arrive même que pour certaines incidences les rayons perdent complètement la propriété d'être réfléchis ou réfractés, et quand ils traversent perpen-

diculairement des cristaux jouissant de la double réfraction, dans certaines positions ils cessent de donner deux images. Malus a donné le nom de *polarisation* à cette singulière modification de la lumière.

Diffraction de la lumière. On désigne sous le nom de *diffraction* de la lumière les modifications qu'elle éprouve en passant auprès des extrémités des corps.

Lorsque l'on fait pénétrer des rayons solaires dans une chambre obscure, par une ouverture d'un très-petit diamètre, et que, après avoir formé un spectre solaire à l'aide d'un prisme, on laisse passer derrière l'écran et par un très-petit trou un rayon simple, on remarque que les ombres des corps placés dans le faisceau lumineux, au lieu d'être terminées d'une manière tranchée, comme cela devrait être si la lumière marchait toujours en ligne droite, sont fondues sur leurs contours et bordées de franges colorées très-distinctes, dont les largeurs sont inégales et vont en diminuant à partir de la première; et quand le corps interposé est assez étroit, on voit même des franges dans son ombre qui parait alors divisée par des bandes obscures et des bandes plus claires placées à des distances égales les uns des autres. La première espèce de franges est désignée sous le nom de *franges extérieures* et la dernière sous le nom de *franges intérieures.*

DE LA VISION.

Structure de l'œil. L'organe de la vision dans l'homme est formé d'un globe allongé, placé dans une cavité osseuse que l'on nomme *orbite.* Les *paupières*, dont la surface interne porte le nom de *conjonctive*, sont destinées par le grand nombre de petits trous dont elles sont percées intérieurement pour donner passage à l'écoulement des glantes lacrymales, à couvrir l'œil d'une couche liquide à mesure que l'évaporation la fait disparaître; les cils qui bordent les paupières s'opposent à l'introduction de petites poussières qui blesseraient l'œil ou terniraient sa surface; les sourcils qui couronnent l'orbite sont destinés àdétourner la sueur qui s'écoule souvent du front. Le globe de l'œil est formé d'une enveloppe extérieure, blanche et opaque dans la partie postérieure et transparente dans la partie antérieure; la partie opaque AEDFB (fig: 71.) s'appelle *sclérotique* ou *cornée opaque*, l'autre partie AB, dont la convexité se trouve d'un plus petit diamètre, porte le nom de *cornée transparente.* La sclérotique est recouverte à l'intérieur d'une membrane à laquelle on donne le nom de *choroïde*, et qui est imbibée d'une liqueur noirâtre qui empêche la réflexion de la lumière dans l'intérieur de l'œil; la choroïde est elle-même recouverte par une membrane mince d'un gris blanchâtre, qu'on appelle la *rétine*, et qui est produite par l'épanouissement de la partie intérieure et médullaire du nerf optique. La cornée transparente est recouverte d'une tunique que l'on nomme *albuginée*, et qui produit le blanc de l'œil; derrière la cornée transparente est une bande circulaire opaque, de couleur variable, désignée sous le nom d'*iris* et percée d'une ouverture circulaire qui porte le nom de *prunelle* ou *pupille.* L'iris est composée de fibres qui servent à la contracter et à la dilater, et par conséquent à agrandir ou a retrécir la prunelle suivant que les objets

jettent moins ou plus de lumière ; car, lorsqu'un objet jette très-peu de lumière, il faut que la prunelle s'agrandisse pour recevoir autant de rayons lumineux possibles, afin d'obtenir au fond de l'œil une image distincte de l'objet ; c'est ce qui a lieu lorsque l'on sort d'un lieu éclairé pour aller dans l'obscurité. Au contraire, lorsque l'objet est très-lumineux, il produit sur la rétine une impression trop forte et fatigue l'œil, qui ne peut pas recevoir tant de lumière ; parconséquent, la prunelle se retrécit. Derrière la pupille est placé un corps lenticulaire CC', d'une matière solide et diaphane, que l'on désigne sous le nom de *cristallin*. Ce corps, qui paraît immobile, est plus convexe vers le fond de l'œil que par devant. L'espace compris entre la cornée transparente et le cristallin est rempli d'un liquide qui porte le nom d'*humeur aqueuse*, parce qu'il a à peu près le même pouvoir de réfrangibilité que l'eau ; et entre le cristallin et le fond de l'œil se trouve un espace beaucoup plus considérable que le premier et occupé par une espèce de matière gélatineuse que l'on appelle *humeur vitrée*, parce qu'elle a à peu près la réfrangibilité du verre. Ces deux humeurs sont d'une transparence parfaite.

Marche des rayons dans l'œil. Les rayons qui partent d'un objet et qui pénètrent au fond de l'œil, (fig: 72.) se rapprochent d'abord en traversant l'humeur aqueuse, se rapprochent de nouveau en traversant le cristallin, et se réfractent une troisième fois en passant à travers l'humeur vitrée pour se rendre sur la rétine, et y former une image renversée des objets extérieurs. On peut facilement reconnaître que l'image des objets est renversée sur la rétine, en prenant un œil de bœuf extrait peu de temps après sa mort, en amincissant la sclérotique et en la plaçant entre l'œil et un objet éclairé. Mais si l'image est renversée sur la rétine, pourquoi ne voit-on pas l'objet renversé? c'est parce que l'œil reporte toujours l'objet à l'extrémité du rayon qui le lui apporte, puisqu'en effet on voit l'objet à l'endroit où il est véritablement.

Les images qui se produisant sur la rétine sont plus parfaites que celles que l'on obtient par les lentilles ordinaires, d'abord parce que les bords de ces dernières ne concentrent pas les rayons rigoureusement au même foyer que ceux qui sont voisins du centre ; ce phénomène porte le nom d'*aberration de sphéricité* ; ensuite parce que les rayons de différentes couleurs, ayant des réfrangibilités différentes, forment des foyers distincts ; ce dernier phénomène est désigné sous le nom d'*aberration de réfrangibilité*. Dans le premier cas les images doivent être diffuses, et dans le second elles doivent être terminées par des franges irisées, parce que les images de différentes couleurs prennent des positions différentes suivant les différents degrés de réfrangibilité des rayons colorés. On doit donc admettre que les parties de l'œil sont disposées de manière à faire disparaitre ces aberrations. Il parait que l'aberration de sphéricité est en grande partie compensée, 1°. par l'iris qui absorbe les rayons trop obliques ; 2°. par la forme de la surface du cristallin qui est plus plate au centre que vers les bords, ce qui fait que les rayons obliques la rencontrent sous de plus petites incidences ; 3°. par la concavité de la rétine qui la rapproche des rayons obliques. L'aberration de réfrangibilité paraît détruite par la composition du cristallin qui est formé de couches concentriques d'inégales densités.

Distance de vision distincte. On désigne ainsi la distance à laquelle les objets sont vus nettement et sans effort : cette distance est ordinairement de 8 a 10 pouces ; mais souvent, par un effort dont nous avons le sentiment, nous voyons nettement les objets a quelques pouces et à plusieurs pieds, et à de très-grandes distances. Il semblerait que l'on ne pourrait expliquer cette variation de distance de la vue distincte que par des changements de courbures des milieux diaphanes, ou par les variations de leurs distances qui ramèneraient le lieu de leurs foyers sur la rétine ; mais les recherches les plus munitieuses sur l'anatomie de l'œil ne permettent pas d'admettre d'autre changement que l'agrandissement ou le retrécissement de la prunelle, dont le diamètre augmente quand les objets s'éloignent et diminue lorsque les objets se rapprochent. Quelques physiciens pensent que ce changement de diamètre de la pupille est suffisant pour expliquer la variation de distance de la vue distincte. On peut faire une expérience qui vient à l'appui de cette opinion ; si on regarde un corps placé très-près de l'œil, on le voit confusement ; mais l'image en devient distincte si on le regarde à travers une carte percée d'une très-petite ouverture.

Sensation de la lumière. Tout ce que nous savons de la vision c'est que l'image des objets extérieurs se dessine renversée sur la rétine ; mais cette image n'est que la cause de la sensation ; la modification quelconque qu'éprouve la rétine se transmet au cerveau par le nerf optique, où a réellement lieu la sensation. Les physiologistes n'ont jamais pu expliquer le mode de la sensation optique non plus que celui des autres sensations. Cependant, malgré que la sensation se reproduise au cerveau, nous rapportons toujours les objets sur la direction des rayons qui arrivent du dehors sur la cornée transparente, d'après ce principe de la physique que nous avons déjà énoncé plusieurs fois que l'œil reporte toujours les objets à l'extrémité des rayons qui les leur apportent; parce que, suivant l'opinion des meilleurs physiciens, on s'accoutume par l'expérience et une longue habitude, ainsi que par le toucher à mettre les objets en leurs véritables lieux.

Quand les deux yeux sont tournés vers un objet, on juge de la distance de cet objet par l'angle formé par les deux rayons visuels qui partent de chacun des yeux pour se réunir sur l'objet en question. Mais cela dépend beaucoup aussi de l'habitude que l'on a de voir le même objet à des distances variables ; ainsi, souvent par analogie on juge de la distance d'un objet par sa grandeur apparente, de même l'on juge de sa grandeur réelle par l'idée qu'on a de sa distance. S'il en était autrement celui qui n'aurait qu'un œil de bon ne pourrait juger des distances, ni par conséquent des grandeurs, puisqu'il ne pourrait former d'angle obtique ; et cependant on sait très-bien que ceux qui sont privés de la faculté de l'un de leurs yeux jugent ainsi que les autres des grandeurs et des distances des objets.

Bien que l'image d'un objet se dessine sur les deux rétines, il n'y a qu'une seule sensation, parce que les nerfs optiques se réunissent en pénétrant dans le cerveau ; mais, si les images n'étaient point placées sur des points correspondants des deux rétines, elles deviendraient distinctes toutes deux ; c'est ce que l'on peut facilement vérifier en pressant un œil avec le doigt pour le déranger de sa position.

La sensation dure un certain temps, car si l'on fait tourner rapidement un morçeau de bois, dont une des extrémités soit allumée, on aperçoit un cercle lumineux continu.

La distance de la vue distincte n'est pas la même chez toutes les personnes. La partie antérieure de l'œil s'aplatit par l'âge ; en outre il y a des personnes qui naissent ainsi, ou qui amènent leur vue à cet état par des études trop contentieuses, trop prolongées, surtout à la lumière des bougies. Par cet aplatissement de l'œil les rayons lumineux deviennent moins convergents, il faut donc pour que les rayons forment leurs foyers sur la rétine que la divergence des rayons qui arrivent à l'œil soit très-petite et par conséquent que les objets soient éloignés. On donne le nom de *presbytes* à ceux dont la vue est ainsi constituée ; on y remédie en plaçant devant l'œil une lentille convergente ; car, la divergence des rayons étant diminuée par l'interposition de la lentille, tout se passe comme si les rayons partaient de plus loin. Il y a d'autres personnes, et cela dans tous les âges, qui ont le défaut opposé, c'est-à-dire dont la cornée transparente est trop convexe, trop arrondie et qui par conséquent ne peuvent voir qu'à une très-petite distance ; on les désigne sous le nom de *myopes*. Dans ce cas, les rayons lumineux convergeant trop, les foyers des objets éloignés se forment en avant de la rétine et la vision est confuse ; on obvie à cet inconvénient en plaçant devant l'œil une lentille divergente ; alors la divergence des rayons est augmentée, et tout se passe comme si l'objet était plus rapproché.

Appareils et instruments d'optique. Nous avons déjà parlé des miroirs, de leurs différents effets suivant leurs diverses formes ; maintenant, si deux miroirs plans, par exemple, sont situés parallèlement l'un à l'autre, et que l'on interpose entre eux un corps lumineux, il y aura d'abord dans chacun des miroirs une image du corps, et ces images se réfléchissant, il y aura une suite d'images qui iront s'affaiblissant par le grand nombre de réflexions que subit la lumière.

Si l'on regarde sous un très-petit angle dans un miroir devant lequel se trouve placé un objet, l'on voit une série d'images. Pour comprendre ce phénomène il faut remarquer qu'une partie de la lumière est réfléchie à la première surface de la glace et donne une première image ; une partie de la lumière pénètre et se réfléchit à la surface métallique, mais lorsque cette lumière se présente pour sortir, une portion est réfléchie intérieurement, et retourne à la seconde surface, ainsi de suite ; par conséquent il y a deux images qui proviennent d'une seule réflexion, l'une à la surface supérieure, l'autre à la surface inférieure, et une suite d'autres qui proviennent de la 3e, 5e, 7e réflexion. C'est la deuxième image qui est la plus brillante.

Si l'on incline deux miroirs l'un a l'autre, on verra d'autant plus d'images du corps lumineux placé entre eux que l'angle qu'ils formeront sera une moindre partie de la circonférence ; mais il faut que cet angle soit une partie aliquote de la circonférence pour que les images soient nettes et distinctes. Ainsi par exemple, si, entre deux miroirs placés à angle droit, l'on interpose une lumière, on verra quatre lumières au lieu d'une, parce que l'angle droit est la quatrième partie de la circonférence ; si l'angle formé par les miroirs est de 60

degrés on verra 6 lumières, 8 s'il est de 45, 12 s'il est de 30; ainsi de e suite.

Microscope simple. Le *microscope simple* ou *loupe* n'est autre chose qu'une lentille convergente d'un foyer très-rapproché pour qu'on puisse regarder les objets de très-près; c'est de cet instrument dont se servent journellement les ouvriers en horlogerie et en orfévrerie. Pour concevoir l'effet de cet instrument, il faut remarquer qu'un objet très-petit placé très-près de l'œil n'y produit qu'une image confuse, parce que les rayons lumineux arrivent trop obliquement à l'œil pour pouvoir former leurs foyers sur la rétine; on sait que l'on peut faire disparaître ce défaut en interposant entre l'œil et l'objet un carton percé d'un très-petit trou, de manière à n'admettre que des rayons à peu près parallèles. Mais en obviant à cet inconvénient on tombe dans un autre; on ne reçoit plus alors qu'une quantité de lumière insuffisante pour que l'œil puisse voir l'objet très-nettement. On obvie à l'un et l'autre de ces inconvénients en plaçant entre l'œil et l'objet une lentille convergente d'un foyer très-court, qui diminue la divergence des rayons, rend la vision plus distincte, agrandit et éclaire de beaucoup l'objet.

Microscope composé. Ce microscope se compose d'une petite lentille A (fig: 73) d'un très-court foyer au-devant de laquelle on place un très-petit objet *mn*, à une distance A*d* plus grande que la distance du foyer principal A*a*; il se forme derrière la lentille à une distance A*d*' une image renversée et agrandie *m'n'* que l'on regarde avec l'oculaire B, de manière que la distance B*d*' soit un peu plus petite que la distance du foyer principal B*b*, on aperçoit alors une image *m''n''* beaucoup plus grande.

Lunette astronomique. La *lunette astronomique* se compose de deux verres doublement convexes comme le microscope composé; l'objectif CD a un foyer très-long; au contraire l'oculaire EG a un foyer très-court. Les deux lentilles ont le même axe, et leurs foyers principaux coincident en un même point F de cet axe. Les faisceaux lumineux, partis d'un objet AB très-éloigné, viennent former en F une image *ab* très-petite et renversée de cet objet; on regarde à travers l'oculaire EG cette image qui paraît considérablement agrandie, puisqu'on la regarde suivant la direction des rayons *ob* et *oa*.

Lunettes terrestres. La lunette astronomique renverse les objets, comme nous l'avons vu; cela ne souffre aucun inconvénient pour les observations astronomiques; mais il n'en est pas de même des objets terrestres que l'on observe, il faut que la dernière image en soit droite. Ces instruments (fig: 74) sont composés de quatre oculaires, qui sont disposés de manière à avoir le même axe et dont les deux premiers, qui ont leur foyer principal en un même point, sont destinés a redresser l'objet, tandisque les deux derniers, qui ont aussi leur foyer principal en un même point, servent à rendre l'objet plus net et plus éclairé. Le grossissement des objets dépend des foyers de tous les verres et des intervalles qui les séparent. Les rayons envoyés par l'objet AB viennent former une image *ab*; les faisceaux lumineux qui partent de cette image, sont parallèles entre eux, après avoir traversé le premier oculaire, et par conséquent, après leur passage à travers le

deuxième oculaire, ils viennent former une deuxième image $a'b'$, placée dans le même sens que l'objet lui-même. Les faisceaux qui partent de cette image sortent du troisième oculaire assez parallèles entre eux pour donner la vision distincte. Ces lunettes ont quelquefois quatre et quelquefois cinq verres ; celui des verres, qui reçoit les rayons émanés directement de l'objet, s'appelle *objectif*, tandisque les autres portent le nom d'*oculaires*.

Lunette de Galilée. La *lunette de Galilée* (fig : 75.) n'est composée que de deux lentilles ; l'oculaire est une lentille divergente placée en avant du lieu de l'image $m'n'$ formée par l'objectif ; les rayons de chacun des faisceaux qui partent des différents point de l'objet, en traversant l'objectif, deviennent sensiblement parallèles entre eux ; ces faisceaux se croisent ensuite, et iraient former une image renversée si, en traversant l'oculaire, ils n'étaient forcés à prendre un parallélisme qui convient à la vue distincte et à la netteté des objets. Comme l'œil reporte toujours l'objet à l'extrémité du rayon qui le lui apporte, il verra l'image droite et agrandie ; la position la plus favorable est très-près de l'oculaire, parce que, à mesure qu'on s'éloigne, on perd les rayons les plus divergents. Dans cet instrument le foyer de l'oculaire et celui de l'objectif sont au même point. Cette lunette est ordinairement employée pour les spectacles ; c'est pour cette raison qu'elle porte le nom de *lorgnette d'opéra.*

La condition nécessaire pour que la vision soit distincte dans tous les instruments que nous venons de décrire est que les rayons sortent de l'oculaire avec le degré de divergence convenable pour l'œil de l'observateur. On parvient à remplir cette condition en adaptant les différents verres de l'instrument dans des tuyaux mobiles qui permettent de placer l'objectif et les différents oculaires aux distances convenables pour chaque œil.

Il faut aussi noircir l'intérieur des tuyaux des lunettes, afin d'éviter les réflexions des rayons qui viennent de toutes les parties du champ et qui troubleraient la netteté des images.

APPAREILS FORMÉS PAR UN ASSEMBLAGE DE MIROIRS ET DE LENTILLES.

Télescope d'Herschell. Cet appareil (fig : 76.) est formé d'un tuyau au fond duquel se trouve un miroir métallique sphérique concave ; les rayons émanés des objets extérieurs forment en avant du miroir une image $m'n'$ que l'on regarde avec une loupe ou un oculaire achromatique. Dans cette disposition l'observateur intercepte une partie des rayons incidents ; mais, quand l'axe du miroir est un peu incliné sur l'axe du faisceau de lumière venant de l'objet, l'image se forme hors de l'axe, le sommet seul de la tête se trouve dans le trajet des rayons, et, si le miroir est très-grand, la quantité de lumière interceptée est très-petite. C'est avec un appareil semblable qui avait 40 pieds de foyer qu'Herschell a fait une partie de ses découvertes.

Télescope de Newton. L'objectif du télescope de Newton (fig : 77.) est un grand miroir métallique concave M, ainsi que dans celui d'Herschell, dont on dirige l'axe vers l'objet ab que l'on veut obser-

ver. Cet objet est toujours placé à une grande distance. Les rayons émanés des différents points de cet objet et réfléchis par le miroir M viendraient former en $a^{\prime}b^{\prime}$ une image renversée ; mais, entre le lieu de cette image et le miroir M, on place un miroir plan de petites dimensions, incliné de 45 degrés sur l'axe ; alors les rayons refléchis par M le sont de nouveau par m, et l'image vient se former en $a^{\prime\prime}b^{\prime\prime}$. Un petit tube latéral est placé en face de cette image, et un oculaire O est adapté à ce tube de manière que l'image $a^{\prime\prime}b^{\prime\prime}$ occupe à très-peu près le foyer de cet oculaire. Les rayons partis de l'image et qui traversent l'oculaire, en sortent avec la divergence nécessaire à la netteté de la vision. L'œil aperçoit alors l'image en AB considérablement agrandie. Mais ce télescope présente l'inconvénient de forcer l'observateur à se placer sur le côté de l'instrument, ce qui l'empêche de le diriger facilement vers l'objet qu'il veut observer. Le télescope de Grégori ne présente pas le même défaut.

Télescope de Grégori. Dans cet instrument (fig: 78.) le miroir plan incliné du télescope de Newton est remplacé par un petit miroir concave dont l'axe coïncide avec celui du grand miroir, et le grand miroir est percé à son centre d'un petit trou circulaire, où est placé l'oculaire ; de sorte que les rayons, après s'être réfléchis sur le grand miroir, et avoir formé une image $b^{\prime}a^{\prime}$, se réfléchissent de nouveau sur le petit miroir m et vont former une seconde image $a^{\prime\prime}b^{\prime\prime}$ que l'on regarde directement avec l'oculaire.

Mais, comme en général, dans la construction des instruments, on tend plus particulièrement à avoir une vue nette et distincte des objets plutôt qu'un agrandissement considérable, et que, dans les instruments ou il entre des miroirs, il y a beaucoup de lumière de perdue et dispersée, d'autant plus qu'elle subit un plus grand nombre de réflexions, puisqu'il est impossible à l'homme d'obtenir des surfaces assez polies pour ne pas disperser la lumière, les physiciens ont cru que, s'ils obtenaient des instruments qui ne fussent pas composés de miroirs, mais qui donnassent directement une grande quantité de lumière, avec un grossissement égal à six cents fois la grosseur de l'objet, ils auraient obtenu plus parfaitement le but auquel ils tendent; Mr. Le Rebour, célèbre opticien français, mort depuis peu, a construit des objectifs qui ont jusqu'à 12 pouces de diamêtre ; il en avait commencé un dont le diamêtre est de 14 pouces, mais il est mort en laissant cet ouvrage inachevé. Les télescopes à objectif sont généralement préférés à ceux à miroirs.

Chambre obscure. Si l'on place au volet d'une chambre une lentille convergente et à son foyer un carton ou un verre dépoli, on y verra une image renversée des objets du dehors ; mais, si, avant ou après son passage à travers la lentille, on reçoit la lumière sur un miroir, les images sont redressées. Les chambres obscures varient beaucoup pour la forme et la grandeur suivant l'usage que l'on veut en faire. La figure 79 est une des meilleurs dispositions ; dans cette chambre obscure on recoit l'image sur un carton sur lequel on peut facilement tracer des contours. Mais Mr. C. Chevalier à remplacé le miroir et la lentille par un prisme (fig: 80.) dont les deux faces AC et CB, sont, l'une convexe et l'autre concave. La lumière qui entre dans

le prisme est réfléchie sur la surface plane AB et est renvoyée sur le carton. Cette disposition est préférable à toutes autres dispositions.

Lenterne magique. La *lenterne magique* est ainsi construite : la lumière, qui est produite par une lampe, est réfléchie sur un miroir concave et est concentrée par une grande lentille dont le foyer est très-court ; au-delà de cette lentille est placée une lame de verre sur laquelle sont peints divers objets ; ces objets sont éclairés par transmission par la lumière qui sort de la grande lentille ; au-delà à une distance un peu plus grande que celle du foyer, se trouve une lentille convergente, qui va former sur un tableau une image agrandie, qui serait renversée si on n'avait soin de renverser les objets dans l'instrument.

La *fantasmagorie* n'est qu'une modification de la lenterne magique ; dans la fantasmagorie on fait varier la distance de l'objet à la lentille convergente au moyen d'un tuyau que l'on allonge ou raccourcit à volonté, et la distance de l'instrument au tableau qui reçoit l'image varie en le fesant avancer ou reculer sur de petites roues. La grosseur de l'image varie entre des limites très-étendues, par conséquent elle paraît s'éloigner ou s'approcher ; mais pour que l'illusion fut complète, il faudrait que la lumière de l'image subit les mêmes variations que sa grandeur ; il n'en est pas ainsi, et la quantité de lumière varie exactement en sens contraire, puisque le foyer de lumière est toujours le même, et que par conséquent lorsque l'image s'agrandit elle doit être moins éclairée.

Microscope solaire. Cet instrument est destiné a observer des objets d'une très-petite dimension ; la lentille A (fig : 81.) a un foyer très-court ; on place en avant un objet très-petit *mn*, un peu au-delà de la distance du foyer, alors il se forme une image agrandie *m'n'* que l'on peut recevoir sur un écran. Mais pour que l'image soit brillante, il faut accumuler de la lumière sur l'objet ; pour cela on place à l'extérieur une lentille B qui reçoit les rayons solaires réfléchis par un miroir placé à l'extérieur.

Arc-en-ciel. L'*arc-en-ciel* est une image circulaire présentant toutes les couleurs du spectre solaire, et qui aparaît quand les rayons solaires viennent frapper un nuage qui se résout en pluie. Ce phénomène n'est visible que pour un spectateur placé entre le nuage et le soleil auquel il tourne le dos. Un arc-en-ciel, dont les couleurs sont très-vives, est ordinairement accompagné d'un second arc plus faible que le premier, il arrive même quelque fois qu'on en aperçoit un troisième plus faible que le second. Dans l'arc supérieur les couleurs, en commençant par la partie la plus élevée, se succèdent dans l'ordre suivant :—violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange, rouge ; dans l'arc inférieur les couleurs se présentent dans l'ordre inverse. Le centre de l'arc-en-ciel est toujours placé sur la ligne qui joint le centre du soleil avec l'œil. Le phénomène de l'arc-en-ciel s'observe aussi au haut des chûtes et dans cette espèce de pluie artificielle que produisent les jets d'eau.

Il résulte donc de ce que nous venons de dire que ce phénomène est dû à l'influence des gouttes d'eau sur les rayons solaires. Pour trouver en quoi elle consiste, considérons d'abord un seul rayon ex-

trêmement délié de lumière homogène, et examinons sa marche dans une goutte liquide sphérique. Le rayon en rencontrant la surface extérieure de la goutte sera réfléchie en partie et en partie réfractée en pénétrant dans l'intérieur. La partie du rayon, qui a subi une première réfraction, rencontrant un des points de la surface intérieure de la sphère, est en partie réfléchie et en partie réfractée ; la partie réfractée s'échappe dans l'air et ne parvient pas à l'œil du spectateur. La partie qui a subi une première réflexion dans l'intérieur de la goutte, en arrivant sur un des points de la surface interne se divise encore, et une partie est réfractée et l'autre réfléchie ; ainsi de suite indéfiniment, la partie refléchie continuant à éprouver des réfractions et des réflexions chaque fois qu'elle rencontrera la surface intérieure de la sphère liquide jusqu'à ce qu'elle devienne trop faible pour que la lumière colorée qu'elle émet soit sensible à l'œil. Ce sont les rayons qui entrent dans l'air après avoir subi une seule réflexion dans l'intérieur de la goute, qui produisent sur notre œil la sensation du premier arc-en-ciel. Les rayons qui entrent dans l'air après deux réflexions font apercevoir le deuxième arc ; ceux qui sortent après trois réflexions produisent le troisième. Mais les rayons qui entrent dans l'air, sans être parallèles entre eux, s'écartent trop les uns des autres pour arriver à la prunelle, et par conséquent pour pouvoir être sensibles ; il n'y a donc que les rayons qui, sortant de la goutte, conservent leur parallèlisme entre eux, qui pourront produire sur l'œil une impression sensible : aussi les nomme-t-on *rayons efficaces*. Ce que nous venons de dire d'un rayon, nous le disons également d'un faisceau de lumière simple. Chacun des rayons qui composent le faisceau éprouvera une même suite de réflections et de réfractions ; mais, comme ces rayons ne tombent pas sur la goutte avec la même incidence, les uns rencontrant plus les autres moins obliquement sa surface, ils ne seront plus parallèles, et les rayons qui sortiront après un même nombre de réflections intérieures ne seront point parallèles ; il n'y aura de parallèles après la sortie que ceux qui rencontreront la sphère liquide sous une incidence telle qu'en la traversant ils subissent la plus grande réfraction possible qu'on appelle le *maximum de la réfraction*, ou qu'ils éprouvent une réfraction qui soit très-rapprochée du maximum. Tous les autres rayons se disperseront dans l'air sans parvenir à l'œil. Jusqu'ici nous n'avons parlé que des rayons homogènes ou de même nature ; mais s'ils étaient formés de lumière blanche, il est clair que la lumière en pénétrant se diviserait en rayons de différentes couleurs, parce qu'une surface courbe étant composée de surfaces planes infiniment petites, comme on la suppose mathématiquement, aura l'effet d'un prisme dont les deux côtés par où entre et sort la lumière seront tengents aux points où le rayon observé entre et sort de la sphère liquide; par conséquent il y aura des rayons efficaces distincts pour chacune des couleurs, puisque chaque espèce de rayons à un pouvoir réfringent différent. Les rayons efficaces de lumière rouge, qui n'éprouvent qu'une seule réflexion dans la goutte pour parvenir à l'œil, ont sur sa surface une incidence de 59 degrés 10 minutes et éprouvent à son intérieur une déviation de 42 degrés 1 minute, ceux de même couleur qui éprouvent deux réflexions in-

térieures, ont une incidence de 71 degrés 49 minutes et 55 secondes, et une déviation de 50 degrés 58 minutes et 50 secondes ; les rayons violets extrêmes, pour une seule réflexion intérieure, on une incidence de 58 degrés 40 minutes et une déviation de 40 degrés 19 minutes ; pour deux réflexions, l'incidence est de 71 dégrés, et la déviation de 54 degrés 9 minutes. Les incidences et les déviations des rayons colorés qui se trouvent entre le rouge extrême et le violet extrême seront évidemment comprises entre ces limites.

Maintenant, nous allons voir par les figures quelle est la disposition des rayons efficaces. MBDE (fig: 82.) est la section d'une goutte d'eau dans le plan formé par une ligne qui va du centre du soleil à la goutte et par une autre qui va du même point d'incidence à l'œil de l'observateur. Pour qu'un rayon AB*ab* devienne efficace après une seule réflexion, il faut que le faisceau réfracté converge en un point D de la circonférence, car, il faut que le faisceau D*c*E soit symétrique au faisceau B*b*D pour qu'en pénétrant dans l'air il puisse former un faisceau E*e*F*f* de rayons parallèles ; c'est ce qui n'arriverait pas si la réflexion avait lieu sur tout autre point.

Pour que le faisceau AB*ab* (fig : 83.) devienne efficace après deux réflexions, il faut que les rayons deviennent parallèles après la première réflexion ; car le faisceau E*e*F*f* sera symétrique au faisceau B*bd*D, et par conséquent le faisceau émergent sera composé de rayons parallèles. Il est facile de voir que pour qu'un faisceau devienne efficace après trois réflexions, (fig : 84.) il faut qu'à la deuxième réflexion tous les rayons qui composent le faisceau se réfléchissent en un seul point. De même, pour qu'ils deviennent efficaces après quatre réflexions, ils doivent devenir parallèles après la seconde. Pour sortir parallèles après cinq réflexions, ils doivent se réunir en un seul point de la circonférence après la deuxième réflexion. En général, pour que les rayons deviennent efficaces après un nombre de réflexions quelconque, il suffit qu'ils deviennent parallèles après le nombre de réflexions qu'ils doivent subir divisé par 2 si ce nombre est pair, et ce nombre moins 1 divisé par deux s'il est impair ; ainsi, si le nombre de réflexions que doivent subir les rayons avant que de sortir de la sphère liquide est 6, ce sera 6 divisés par 2 égalent 3 ; si le nombre de réflexions est 7, ce sera 7 moins 1 divisés par 2 égalent 3.

Supposons maintenant dans l'air un grand nombre de globules d'eau se succédant rapidement dans leur chute ; tout se passera comme si chacun d'eux était immobile ; considérons seulement d'abord les rayons envoyés par le centre du soleil que nous pouvons, sans erreur appréciable, considérer comme parallèles ; soit O (fig : 85.) la position de l'œil ; si nous menons la ligne OC parallèle aux rayons solaires, et la droite OV fesant avec OC un angle de 40 degrés 17 minutes, il est évident que les gouttes d'eau qui se trouveront dans cette direction enverront à l'œil des rayons efficaces violets après une seule réflexion intérieure. En menant de même les lignes OR, OV', OR', de manière que ROC égale 42 degrés deux minutes, R'OC 50 degrés 59 minutes, et V'OC 54 degrés 9 minutes, l'œil recevra suivant OR des rayons efficaces rouges après une seule réflexion intérieure, et suivant OR' et OV' des rayons efficaces rouges et violets après deux

réflexions intérieures, et dans les directions comprises entre VO et RO, V'O' et R'O' les rayons efficaces des couleurs intermédiaires, tels qu'orangés, jaunes, verts, bleus, indigo ; ainsi, s'il n'y avait qu'une seule série verticale de globules d'eau, l'œil apercevrait deux spectres très-minces, dont les teintes se succéderaient en raison inverse comme nous l'avons déjà vu, et dont le plus élevé aurait une intensité moindre que celui qui est inférieur, à cause de la lumière qui a eté dispersée et perdue par la double réflexion intérieure des rayons qui le forment. Mais si la masse des globules a une étendue suffisante tous les rayons qui, après avoir subi à l'intérieur de ces globules les réflexions que nous venons de décrire, viendront à l'œil en fesant avec la ligne OC les angles désignés plus haut pour chaque espèce de rayons efficaces, formeront une multitude de spectres semblables au premier, contigus à lui et également éloignés du point C, par conséquent, l'œil apercevra les deux systèmes de bandes circulaires colorées, ayant pour centre le point C dont les rayons violets formeront les cercles extérieurs et intérieurs. Le diamètre apparent de la bande colorée intérieure sera égal à 42 degrés 2 minutes moins 40 degrés 17 minutes, c'est-à-dire, à 1 degré 45 minutes, qui est la différence d'angle entre le violet extrêmeet le rouge extrême, le diamètre apparent de la bande extérieure seraégal à 54 degrés 9 minutes, moins 50 degrés 58 minutes ou 3 degrés 11 minutes, différence d'angle entre le rouge extrême et le violet extrême, et l'angle compris entre les deux arcs, 54 degrés 9 minutes moins 42 degrés 2 minutes ou 8 degrés 57 minutes.

Dans ce qui précède nous avons supposé que le soleil n'est qu'un point ; mais il n'en est pas ainsi, son diamètre apparent est d'environ 30 minutes ; par conséquent, chaque point du soleil formera un arc-en-ciel ayant les dimensions déterminées plus haut, et c'est la superposition de tous ces arcs partiels, qui ne coïncident pas, qui formera l'arc observé. Pour déterminer les dimensions de cet arc total, observons que les arcs qui seraient produits par les points de la circonférence du soleil auraient leur centre sur la ligne menée par l'œil et par chacun de ces points ; par conséquent, tous les arcs formés par la surface du soleil auront leur centre dans le cercle que l'on décrirait autour du point C et dont le diamètre apparent serait égal à celui du soleil. Ainsi la bande violette résultant d'une seule réflexion intérieure sera formée de tous les cercles ayant leurs centres dans la surface du cercle C'C'' et qui auront pour demi-diamètre apparent 40 degrés 17 minutes ; or il est évident que cette bande (fig : 86.) aura pour épaisseur 30 minutes insi que toutes les autres ; il résulte de la que le cercle extérieur sera plus grand de 15 minutes que celui qui a pour centre le centre du soleil, et que le cercle intérieur sera plus petit de la même quantité. On aura donc pour les différents éléments les valeurs suivantes : ROC égale 42 degrés 2 minutes plus 15 secondes égale 42 degrés 17 minutes, ROV égale 40 degrés 17 minutes moins 15 minutes égale 40 degrés 2 minutes, R'OC égale 50 degrés 59 minutes moins 15 minutes égale 50 degrés 44 minutes, V'OC égale 54 degrés 9 minutes plus 15 minutes égale 54 degrés 24 minutes. Il est facile de déduire de là que l'épaisseur de la bande intérieure sera de 2 degrés 15 minutes, celle de l'iris extérieure de 3

degrés 40 minutes et la distance entre les deux iris de 8 degrés 27 minutes.

Suivant que le soleil est plus ou moins élevé au-dessus de l'horizon, on aperçoit une partie plus ou moins grande de l'arc-en-ciel. Lorsque cet astre est près de son lever ou de son coucher, l'arc-en-ciel a la forme d'une demi-circonférence; à mesure que le soleil s'élève, l'étendue visible de l'arc diminue. Si la hauteur du soleil dépasse 42 degrés, l'arc inférieur disparait et l'on n'aperçoit plus qu'une très-petite partie du second arc qui disparait à son tour quand la hauteur du soleil dépasse 54 degres. Si l'on se trouve au sommet d'une montagne, lorsque le soleil est un tant soit peu au-dessus de l'horison, l'arc surpasse une demi-circonférence.

C'est à Descartes qu'est due l'explication de l'arc-en-ciel; Newton, en mesurant le diamètre apparent des différents cercles colorés d'un arc-en-ciel, a trouvé exactement les nombres indiqués par la théorie.

DE LA MÉTÉORLOGIE.

La *météorologie* embrasse dans leur ensemble tous les phénomènes atmosphériques et tous les phénomènes terrestres, soit accidentels, soit permanents, qui dépendent de l'action du calorique, de l'électricité, du magnétisme et de la lumière.

Des vents. Les *vents* peuvent se propager par *impulsion* ou par *aspiration*. Le vent a lieu par *impulsion* quand le souffle a lieu dans un sens, et que la marche progressive a lieu dans le même sens; c'est ce qui arrive au vent qui sort d'un soufflet dans lequel l'air a été comprimé. Le vent a lieu par *aspiration* lorsque le soufle a lieu dans un sens, et la marche progressive en sens contraire; c'est ce qui arrive au vent qui entre dans un soufflet dont l'air est raréfié. Ce dernier mode de production des vents n'est pas aussi rare qu'on le pense; ainsi, on a remarqué que le vent d'ouest se fait sentir à Moscou long-temps avant d'être sensible à Abo, quoique cette dernière ville soit à 400 lieues à l'occident de Moscou. Parmi les causes des vents, une des plus puissantes est la condensation qui se produit quelquefois rapidement en certains points de l'atmosphère. Ainsi lorsqu'une pluie très-abondante a lieu sur une assez grande étendue, il y a une très-grande quantité de vapeur qui passe de l'état de fluide élastique, ou plutôt de l'état vésiculaire à l'état liquide; ce qui produit un vide considérable. L'air doit donc se porter avec activité vers ce point, pour rétablir l'équilibre de tension atmosphérique, et produire du vent par *aspiration*.

Dans les régions équatoriales, les *ouragans* sont fréquents, et se déploient avec une violence prodigieuse; dans les climats tempérés, ils sont plus rares et moins violents; dans les régions polaires, les grandes secousses atmosphériques se réduisent à des vents très-forts. Les ouragans occupent généralement une grande étendue en longueur, et quelquefois en largeur. Ils se propagent avec une vitesse excessive, qui est parfois de trente à quarante lieues à l'heure. Les effets des ouragans sont désastreux; celui qui eut lieu à La Guadeloupe le 25 juillet 1825 rasa complètement une aile entière d'un édifice neuf, élevé aux frais de l'Etat avec la plus grande solidité; trois canons de

24 furent déplacés ; une belle grille en fer, établie devant le palais du gouverneur, fut entièrement rompue.

Franklin a observé le premier que les ouragans pouvaient avoir lieu par aspiration. Il remarqua qu'un ouragan du *nord-est*, qui commença à Philadelphie à sept heures du soir, n'avait commencé à Boston, à 400 milles au *nord-est* de Philadelphie, qu'à onze heures du s[illegible] même jour. Si l'ouragan eût été produit par impulsion, il aurait dû, au contraire, se faire sentir à Boston plus tôt qu'à Philadelphie.

Les *tempêtes* renversent les chaumières, brisent les arbres qui ont des parties faibles, et produisent sur les côtes des inondations partielles, dont les ravages sont quelquefois considérables.

L'*harmatan* est un vent qui souffle de l'intérieur de l'Afrique sur les côtes de Guinée, trois ou quatre fois par an, pendant quelques jours chaque fois. Il est très-chaud, très-sec, produit un brouillard de poussière qui dérobe le soleil, dessèche tout, fait peler les mains et la face, si on ne les enduit pas de graisse ; et cependant ce vent n'est pas malsain, car il guérit les fiévreux et détruit les épidémies.

Le *Simoum* souffle de l'Intérieur de l'Afrique sur le vaste désert de Sahara, colore l'atmosphère en jaune, en bleu et en violet, et roule des vagues de sable qui ont jusqu'à 20 pieds de hauteur. Il prend le nom de *Sirocco* en Italie, où il se fait sentir affaibli.

Le *chamsin* souffle de l'intérieur de l'Afrique sur l'Egypte, pendant 50 jours ; 25 jours avant l'équinoxe du printemps, et 25 jours après.

Il existe des vents qui soufflent constamment de l'est à l'ouest ; tels sont les vents *alisés* qui se font sentir à l'équateur. Il est facile d'en découvrir la cause. L'air, échauffé à l'équateur, s'élève et est remplacé par l'air froid qui arrive des pôles ; en sorte qu'il s'établit un double courant, l'un supérieur allant de l'équateur aux pôles, l'autre inférieur allant du pôle vers l'équateur. Mais ce dernier, ayant une vitesse de rotation beaucoup moindre que la partie de la terre qui se trouve vers l'équateur, ne se transportera pas aussi rapidement de l'ouest à l'est ; ainsi les personnes placées à l'équateur éprouveront la sensation du vent d'orient ; tandis que ce sont elles qui sont transportées plus rapidement que l'air de l'occident à l'orient.

La *brise* est un vent qui souffle périodiquement de la mer vers la terre, depuis huit heures du matin jusqu'à cinq heures du soir, et de la terre vers la mer depuis le coucher du soleil jusqu'à son lever. Ce double mouvement provient de ce que, pendant le jour, l'air qui touche la terre est plus échauffé que celui qui est au-dessus de la mer ; alors il s'élève et est remplacé par l'air plus froid qui vient de la mer. Le contraire arrive pendant la nuit, l'air de la mer étant alors plus chaud que celui qui est au-dessus de la terre. C'est à cause de ce double mouvement de l'air sur les côtes, que les terres qui avoisinent les mers n'éprouvent pas des étés aussi chauds, et des hivers aussi rigoureux, que les pays placés dans l'intérieur des terres à la même latitude. C'est ainsi qu'on peut cultiver l'olivier sur les côtes de la Bretagne, tandis que la culture en est impossible dans des contrées bien plus méridionales.

Du serein. L'air tient de l'eau en dissolution à toutes les températures ; mais lorsque l'abaissement de la température est assez considérable pour que la tension de la vapeur d'eau soit insuffisante pour tenir ce corps à l'état de fluide élastique, elle se résout en pluie sans nuage et se précipite. C'est à cette pluie légère qu'on donne le nom de *serein*. Lorsque le soleil s'approche de l'horison, la température s'abaisse de plus en plus, et quand elle est arrivée au-dessous de 15 degrés, elle est insuffisante pour tenir en dissolution la vapeur aqueuse qui se résout en pluie comme nous venons de le voir. Plus la température s'abaisse et plus le serein est abondant. Le serein est souvent très-malsain. C'est pour cela qu'il est prudent de se couvrir lorsqu'on sort à l'air après le coucher du soleil.

De la rosée. On donne le nom de *rosée* à ces gouttelettes d'eau plus ou moins volumineuses qu'on trouve souvent le matin sur les plantes. C'est à Mr. Wells qu'est due l'explication de ce phénomène dont la cause avant lui était ignorée.

La rosée ne se dépose en abondance que pendant les nuits calmes et sereines. Lorsqu'il n'y a pas de vent, on en aperçoit quelquefois des traces dans des nuits couvertes ; mais il ne s'en forme jamais par une nuit sombre accompagnée de vent. Pour des nuits qui sont également calmes et sereines, la quantité de rosée est souvent très-inégale. Tout ce qui tend à augmenter l'humidité de l'air paraît favoriser la production de la rosée. La rosée est plus abondante au printemps et surtout en automne qu'en hiver. Il faut remarquer que c'est dans ces saisons qu'il y a plus de différence entre la température de la nuit et celle du jour. La rosée se forme pendant toute la nuit ; mais lorsque les circonstances sont les mêmes il s'en forme beaucoup plus entre minuit et le lever du soleil, qu'entre le coucher du soleil et minuit ; il faut encore remarquer que, dans la dernière partie de la nuit, il fait généralement plus froid que dans la première.

La rosée ne se dépose que très-rarement sur les métaux, et quand elle s'y dépose c'est en très-petite quantité. Mais tous les métaux ne jouissent pas au même degré de cette propriété ; le platine, le fer, l'acier et le zinc se couvrent quelquefois d'une couche très-apparente de rosée, tandisque des plaques d'or, d'argent, de cuivre, d'étain, quoique placées dans les mêmes circonstances, se conservent parfaitement sèches. L'état mécanique des corps influe aussi beaucoup sur la quantité de rosée qui se dépose sur eux, puisque des copeaux de bois très-minces s'humectent beaucoup plus dans le même temps qu'un morceau épais de la même substance. En général les corps se couvrent d'autant plus facilement et d'autant plus de rosée, qu'ils ont un plus grand pouvoir rayonnant. En général, tout ce qui tend à diminuer l'étendue de la portion du ciel qui peut être vue de la place que le corps occupe diminue la quantité de rosée qui se dépose sur ce corps.

Mr. Wells a découvert que pendant la nuit l'herbe est souvent à une température de 4 à 8 degrés au-dessus de la température de l'air, à 3 pieds et quelques pouces au-dessus du sol. Lorsque le temps est calme et serein, cette différence commence à se faire sentir, un peu avant le coucher du soleil, dans les lieux abrités de ses rayons et d'où

l'on peut apercevoir une grande étendue du ciel. Pendant les nuits très-sombres, l'herbe est à la même température que l'air. Si la nuit devient nuageuse après avoir été sereine, l'herbe revient aussitôt à la température de l'atmosphère ; il suffit quelquefois qu'un nuage passe pendant quelque temps au zénith pour produire cette égalité de température. Des observations qui précèdent, Mr. Wells a déduit la conséquence que la rosée est liée au refroidissement des corps, et que le refroidissement est la cause de la rosée, et non la rosée la cause du refroidissement, puisque par un temps sec il y a refroidissement sans production de rosée.

Nous allons maintenant expliquer comment le refroidissement des corps produit cette précipitation des vapeurs. L'on sait qu'à toutes les températures l'air tient de l'eau en dissolution ; mais il en contient d'autant plus que sa température est plus élevée. Lorsqu'il en contient beaucoup le moindre abaissement de température suffit pour opérer la précipitation de la rosée ; mais lorsqu'il est moins saturé, il faut un plus grand abaissement de température pour que la rosée se dépose. Par exemple, lorsque dans l'été l'on met de l'eau froide dans un vase, sa surface extérieure se couvre à l'instant de gouttelettes d'eau ; cette eau ne peut prévenir que de l'air environnant, parce que, le verre ne pouvant être pénétré par l'eau, le liquide intérieur n'a eu aucune influence dans la production de ce phénomène. Lorsqu'il existe une grande différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur d'un appartement, les vitres se couvrent en dedans de vapeurs d'eau, et quand la température extérieure est au-dessous de celle de la congélation de l'eau, la vapeur déposée se congèle et cristalise en ramaux, comme des feuilles de fougère. Ce phénomène est évidemment le même que celui de la rosée.

Il ne reste plus qu'à connaître comment se produit le refroidissement. Nous avons vu que la quantité de rosée déposée sur un corps est d'autant plus grande que ce corps a un plus grand pouvoir émissif, que le ciel est plus serein, l'air plus calme et l'horison des objets plus étendu. La chose se comprend facilement. Les corps émettent continuellement des rayons calorifiques dans tous les sens, et comme les gaz ont un bien petit pouvoir rayonnant, et que la température de l'air va diminuant depuis la surface de la terre, lorsqu'il n'y a pas d'objet qui fasse obtacle au rayonnement des corps, en réfléchissant vers eux la chaleur qu'ils viennent d'émettre, ils se refroidissent rapidement, et, l'air environnant étant dépourvu du calorique qui lui est nécessaire pour tenir en dissolution l'eau qu'il contient, il l'abandonne, et elle se dépose sur les corps en question. Les circonstances étant les mêmes, c'est vers le lever du soleil que la rosée se dépose en plus grande quantité, parce que c'est alors que la température est plus froide, la présence de cet astre produisant des courants d'air continuels.

On conçoit d'après ce que nous venons de dire, pourquoi le plus léger abri protège les plantes contre la gelée lorsque les nuits sont très-froides ; c'est parce que cet abri empêche le rayonnement vers le ciel.

De la grèle. La *grèle*, qui produit souvent de si terribles effets, paraît être due à l'électricité. C'est à Volta qu'est due l'explication

de ce phénomène. Comme la grêle ne se forme souvent qu'à une très-petite hauteur, on ne pouvait supposer qu'elle fut composée de globules liquides qui se grossissaient dans leur chute par les nouvelles couches liquides qu'ils recevaient continuellement, puisque la grêle a souvent une grosseur prodigieuse ; il fallait donc abandonner l'ancienne théorie, et donner une nouvelle explication. Volta suppose donc deux nuages chargés d'électricités contraires, placés l'un au-dessus de l'autre à une petite distance, et dont le plus elevé est formé de petits grains de grêle provenant de la congélation subite de la vapeur qu'il contenait, la grêle tendra à tomber en vertu de son poids, et sera repoussée par le nuage inférieur après quelle en aura partagé l'électricité ; elle sera ainsi attirée et repoussée tour-à-tour par le nuage supérieur et le nuage inférieur, et se grossira dans ce trajet répété par les couches de vapeur aqueuse qu'elle condensera à sa surface, jusqu'à ce qu'enfin l'action de la pesanteur ou un vent violent, l'emportant sur l'atraction électrique, la fasse tomber vers la terre. Ce qui confirme encore cette théorie, c'est que la chute de la grêle est ordinairement précédée par un bruit semblable au choc de corps durs comme des sacs de noix vivement entrechoqués. Dans plusieurs circonstances les paratonnerres paraissent empêcher la formation de la grêle en neutralisant l'électricité des nuages. Cependant comme on ne peut parvenir à ce résultat, qu'autant que la tige des paratonnerres puisse influer sur les nuages électriques, ces appareils n'empêcheront ses désastreux effets que lorsqu'ils seront placés sur le haut des montagnes entourant une vallée ; mais dans une plaine vaste on ne pourrait probablement pas élever des tiges suffisamment hautes pour conjurer l'orage.

La grêle a quelquefois une grosseur considérable. Dans un orage, qui eut lieu en France le 13 juillet 1788, on vit des grêlons qui passaient une demi-livre. La grêle ravagea plus de mille paroisses dans une étendue de 200 lieues de longueur sur 4 ou 5 lieues de largeur. Le 7 mai 1822, il est tombé à Bonn des grêlons qui pesaient 12 à 13 onces.

Givre ou *gelée blanche*. Le *givre* ou la *gelée blanche* n'est autre chose que de la rosée congelée. La gelée blanche se forme dans les nuits fraiches du printemps et de l'automne, lorsque le ciel est pur et serein, que l'air est calme, que la température n'est guère peu au-dessus de zéro ; alors les corps qui ont un grand pouvoir émissif se couvrent de rosée, et leur température s'abaissant bientôt au-dessous de zéro, la gelée se congèle et produit une multitude d'aiguilles entrelacées.

Des brouillards et des nuages. Les brouillards se forment lorsque la force élastique de la vapeur d'eau qui est répandue dans l'air est plus grande que la tension de la vapeur à cette température ; alors, il faut qu'une partie de cette vapeur qui se dégage d'une source quelconque se condense. C'est ainsi qu'au-dessus d'un vase plein d'eau, placé sur un foyer, il se forme un véritable brouillard, d'autant plus épais que la différence est plus grande entre la tension de la vapeur qui se forme et la tension de l'eau en dissolution dans l'air à la température de l'air qui est placé au-dessus du vase. Pour qu'un brouillard se forme il faut que la température de l'air soit plus basse

que celle de l'eau ; alors l'air ne pouvant contenir toute la vapeur qui se forme, puisqu'il contient d'autant moins d'eau en dissolution qu'il est plus refroidi, une partie doit nécessairement se condenser et former un brouillard. Si l'air est sec et fort agité, il emporte la vapeur à mesure qu'elle se forme, sans qu'il y ait une condensation sensible, et alors il ne se forme pas de brouillard ; mais quand l'air est calme et déjà humide, la vapeur se condense presque en totalité, parce que l'air, étant saturé de vapeur, n'en peut pas contenir davantage ; elle doit donc nécessairement se condenser ; c'est ce que l'on voit auprès des sources en hiver.

Il peut encore se former des brouillards lors même que l'air est plus chaud que la surface de l'eau, pourvu qu'il soit humide, parce qu'alors il est refroidi par le contact de l'air froid qui est au-dessus de l'eau ; ne pouvant plus contenir une aussi grande quantité de vapeur, une partie de celle-ci doit se condenser et former un brouillard. C'est ce que l'on remarque pendant les temps de dégel et pendant l'été après les pluies d'orage.

Les *nuages* sont des brouillards plus ou moins épais, suspendus à diverses hauteurs dans l'atmosphère. Les brouillards formés sur la surface de la terre et qui sont entrainés par les vents deviennent des nuages, lorsqu'ils ne sont pas dispersés. Mais ce n'est pas la cause la plus ordinaire des nuages. Lorsque deux courants d'air, chargés d'humidité, se rencontrent dans l'atmosphère et qu'ils sont à des températures différentes, leur mélange prend la température moyenne ; mais à mesure que la température baisse, la tension de la vapeur diminue plus rapidement encore ; en sorte que la rencontre des deux courants d'air de températures différentes doit déterminer la condensation d'une partie de la vapeur et former un nuage.

Les nuages absorbent la chaleur solaire et en s'échauffant ils deviennent plus légers et s'élèvent dans l'atmosphère. La chaleur réduit aussi en vapeur une partie du nuage et quelquefois le dissipe complètement ; d'autres fois la vapeur provenant d'un nuage va se condenser dans une couche d'air plus élevée et plus froide, et donne lieu à ce qu'on appelle des nuages *étagés*.

Les nuages sont formés de petits globules remplis d'air humide et tout-à-fait semblables à des bulles de savon. Il est probable que leur densité est supérieure à celle de l'air à cause du poids de la pellicule d'eau qui les forme ; aussi est-il difficile d'expliquer comment les nuages peuvent demeurer suspendus. Jusqu'à présent la question n'a pu être complètement résolue.

De la pluie, de la neige, du grésil et du verglas. Lorsque les nuages sont très-denses, un refroidissement de l'atmosphère, ou la rencontre du courant d'air qui porte les nuages avec un autre courant d'air chargé d'humidité détermine la chute de l'eau qu'ils contiennent, et forme la pluie.

La neige n'est autre chose qu'une eau congelée ; mais on ignore si les nuages qui la produisent sont composés de vapeurs vésiculaires ou de parcelles déjà glacées ; si les flocons se forment directement, ou s'ils prennent leurs accroissements en traversant les couches inférieures de l'air ; on n'a pu déterminer les circonstances qui déter-

minent leur forme et leur volume. On a seulement fait un assez grand nombre d'observations sur la forme de ces flocons ; la forme d'un hexagone régulier est le type de toutes les formes secondaires qu'ils prennent.

La neige prend quelquefois une teinte rouge que les anciens eux-mêmes avaient remarquée. On en a vu dans les Alpes, dans les Pyrénées, à des latitudes boréales très-élevées ; enfin des navigateurs en ont trouvé dans la Nouvelle-Shetland du Sud, à 70 degrés de latitude australe. Elle se trouve principalement dans les lieux bas et les petits enfoncements abrités ; les couches dans lesquelles on l'a trouvée n'ont pas plus de 2 ou 3 pouces d'épaisseur à quelque profondeur qu'elles soient placées.

La substance colorante ne s'altère pas par la fusion de la neige, car l'eau, limpide, lorsqu'elle est en repos, redevient rouge lorsqu'on agite le flacon qui la contient. Il a été constaté que cette substance colorante consiste dans des globules sphériques séparés en plusieurs compartiments. Ces globules sont de petits champignons du genre *uredo*, formant une espèce particulière qu'on appelle *uredo nivalis*, parce que leur sol naturel est la neige. En plaçant ces globules dans la neige on les voit se multiplier rapidement. On a trouvé de la neige rouge sur les glaces flottantes des mers polaires. Il parait que la substance colorante est la même que celle qu'on a trouvée sur le continent.

On ne sait rien de précis sur la forme du *grésil* qui tombe presque toutes les années dans les mois de Mars et d'Avril ; son origine est sans doute analogue à celle de la neige. Ce sont de petites aiguilles de glace, pressées et entrelacées, formant une petite pelote assez compacte et quelquefois enveloppée d'une couche de véritable glace transparente.

Le *verglas* est une couche de glace mince et transparente qui couvre le sol, les plantes, les arbres et tous les objets répandus sur le sol ; il ne se produit que lorsque l'air est assez chaud pour donner naissance à de la pluie et que le sol est assez froid pour congeler cette pluie à mesure qu'elle tombe. Le verglas n'est donc que de la pluie qui se congèle en touchant le sol.

Aérolithes. Les *Aérolithes* ou *Météorites* sont des pierres qui tombent de l'atmosphère. Il a été émis plusieurs opinions au sujet de cet étonnant phénomène. Quelques physiciens ont prétendu que ces pierres sont lancées par les volcans de la lune, d'autres qu'elles le sont au contraire par les volcans de la terre ; mais depuis qu'on a découvert que les volcans que l'on avait cru apercevoir dans la lune n'étaient que la simple réflexion de la lumière solaire sur la crête des montagnes lunaires, on a entièrement abandonné cette première opinion, et les lieux où tombent les aérolithes sont souvent tellement éloignés de tout volcan, qu'ils rendent improbable cette dernière opinion. On a supposé postérieurement à cela que ces pierres sont des fragments de petits globes qui se brisent dans leur mouvement rapide, et qui tombent à la surface de notre globe, lorsqu'ils pénètrent dans la sphère d'activité de la terre. Cette opinion est beaucoup plus probable que les deux autres.

La constitution chimique des aérolithes diffère complètement de celle des terrains sur lesquels ils sont tombés. Tous ceux que l'on a analysés sont composés de fer mélangé de nikel et de substances terreuses. Quelques-uns sont assez riches en fer pour pouvoir être forgés.

Crépuscule. On donne le nom de *crépuscule* à la lumière qui précède le lever du soleil et qui suit son coucher. Le crépuscule du matin porte aussi le nom d'*aurore*; cette lumière provient de la réflexion des parties supérieures de l'atmosphère. Nous savons que la densité de l'air va décroissante à partir de la surface de la terre, et nous avons vu que quand la lumière passe d'un milieu plus dense dans un autre qui l'est moins elle est déviée (fig: 87.) et tend à s'approcher de la perpendiculaire. Maintenant, tous les rayons qui n'arriveront pas à notre œil en traversant toujours une même couche ou en pénétrant perpendiculairement les diverses couches, seront déviés, et comme l'œil reporte toujours l'objet à l'extrémité du rayon qui le lui apporte, il verra nécessairement les corps plus élevés qu'ils ne sont réellement, et cela d'autant plus qu'ils sont plus près de l'horison. Ainsi nous apercevons le soleil lorsqu'il est encore à un degré au-dessous de l'horison.

Halos ou *couronnes.* Les *couronnes* ou *halos* sont des cercles brillants qui paraissent quelquefois autour du soleil ou de la lune, ils sont ordinairement blanchâtres, mais quelquefois ils prennent les couleurs de l'arc-en-ciel; l'espace qu'ils embrassent est ordinairement plus sombre que la partie du ciel qui les environne. Autour de la lune le halo est simplement formé d'un cercle lumineux blanc, sans couleurs tranchées, excepté un rouge pâle qui borde quelquefois l'intérieur du cercle,

Parélies. Les *parélies* ou *faux-soleils* consistent dans l'apparition de plusieurs images du soleil, situées sur un cercle blanc parallèle à l'horison et placé à la hauteur du soleil; les images qui sont situées du même côté que le soleil présentent les couleurs de l'arc-en-ciel; les images opposées sont toujours sans couleurs. Le parélie le plus complet a eté observé à Dantzik le 20 février 1661. Il arrive quelquefois que des globules de vapeur condensée ont l'effet des miroirs et renvoient des faisceaux de lumière réfléchie: les parélies paraissent être dus à cet effet. Huyghens, qui a donné l'explication la plus complète de ce phénomène, suppose dans l'air un grand nombre de petits cylindres composés d'un noyau opaque et transparents à l'extérieur. Lorsque les réflexions qui produisent le parélie sont très fortes, il en résulte une croix lumineuse. Mais souvent la croix n'a que trois branches; une trainée de lumière s'élève au-dessus du soleil, et deux autres s'étendent à droite et à gauche.

De l'aurore boréale. L'*aurore boréale* apparait à l'horison du côté du Nord, en tirant un peu vers l'Ouest, trois ou quatre heures après le coucher du soleil; elle s'annonce d'abord par une espèce de brouillard sous la forme d'un segment ou partie de cercle, dont la corde s'appuie sur l'horizon, les contours du segment paraissent bientôt bordés d'arcs concentriques lumineux, séparés par des

bandes obscures. La partie obscure du segment lance des jets de lumière qui se renouvellent avec une extrême rapidité et se dirigent vers le zénith, où ils forment une couronne enflammée : ce phénomène a alors acquis son plus grand éclat, il diminue ensuite graduellement, les jets de lumière deviennent plus rares, la lumière se concentre vers le Nord et enfin disparait. Les aurores boréales sont fréquentes dans l'Amérique du Nord, il ne se passe presque pas de nuit, lorsque le ciel est pur, sans qu'on en remarque à l'horison. Ce que les navigateurs appellent *clairons* et qu'ils donnent comme pronostics d'un mauvais temps, d'un grand vent, ne sont autre chose que des aurores boréales plus ou moins apparentes. Celle qui fut vue presque par tout l'univers en 1837, était d'un éclat effrayant et sinistre, et a occupé l'attention des plus célèbres physiciens d'Europe. On a fait bien des conjectures et bâti bien des systèmes pour expliquer cet étonnant phénomène. Quelques-uns avaient supposé qu'il était l'effet de la réflexion des glaces polaires dans l'atmosphère ; mais il est souvent vu à de si grandes distances de toutes glaces, que cette hypothèse est insoutenable ; d'autres avaient pensé qu'il était dû à un gaz, dont la couleur est rousse, placé dans les hautes régions de l'atmosphère ; mais M. Gay-Lusac, dans son voyage aérostatique, recueillit, à la hauteur de plus de 24000, de l'air dont les propriétés chimiques sont parfaitement les mêmes que celles de l'air à la surface de la terre ; et d'ailleurs cette couleur rousse du gaz en question est loin d'avoir l'éclat brillant et lumineux de l'aurore boréale ; puis, par cette hypothèse et par la précédente, comment expliquer la déviation de l'aiguille aimantée à l'apparition de ce météore. On en est venu à cette dernière supposition que l'aurore boréale est liée au magnétisme terrestre, car on observe 1o. que le centre des arcs concentriques est sur le méridien magnétique ; 2o. que le point, où les rayons lumineux partis de l'horison se réunissent, est précisément celui vers lequel se dirige l'aiguille d'inclinaison. Cependant aucun physicien n'est encore parvenu à donner une explication complètement satisfaisante des aurores boréales.

FIN.

N

D
P
C
D
D
L

P

C
C
E
D
M

D
E

E

C
E
E

D
A
L
M
O
O

C
C

Table des matières contenues dans ce volume.

	Pages.
Notions préliminaires,	3
Corps pondérables.	5
De la matière,	5
Propriétés générales des corps,	5
Composition des forces qui sollicitent un corps,	7
Divisibilité,	7
Des forces permanentes qui agissent sur les corps,	8
Lois de la chute des corps à la surface de la terre,	12
Corps solides,	13
Porosité, densité, compressibilité et extensibilité des corps solides, élasticité, ductilité, frottement,	14
Choc des corps ductiles,	17
Choc des corps élastiques, etc.	18
Emploi des corps solides pour transmettre et modifier les forces,	19
Du levier, de la poulie, etc.	20
Machines composées,	24
Corps liquides,	25
Densité, compression des liquides, etc.	26
Equilibre des liquides, pression des liquides, pression sur le fond des vases, etc.	26
Equilibre des liquides renfermés dans des vases communicants, etc.	29
Capillarité,	30
Equilibre des corps plongés dans les liquides, etc.	30
Emploi des corps liquides pour transmettre et modifier les forces, presse hydraulique, etc.	32
Corps gazeux,	34
De l'air, etc.	34
Aérostats, machine pneumatique, etc. pompes, etc.	38
L'air considéré comme véhicule du son, etc.	41
Mode de propagation du son dans l'air, etc.	42
Organe de l'ouïe,	49
Organe de la voix,	50
Fluides impondérables,	52
Du calorique,	52
Calorique sensible, etc.	53
Calorique latent, etc.	57

Phénomènes qui se développent dans les changements d'état des corps, 62
Passage de l'état solide à l'éta tliquide, et réciproquement, passage de l'état liquide à l'état de vapeur, 62
Emploi de la vapeur comme force motrice, 66
Machine de Watt à basse pression, machine à haute pression, 67
Sources de chaleur, 69
ELECTRICITE, 70
Disposition de l'électricité libre dans les corps conducteurs, 73
Appareils électriques, 75
Electricité atmosphérique, paratonnerres, 79
ELECTRICITE GALVANIQUE, 82
Piles de Volta, 82
Effets produits par les piles voltaïques, 85
Phénomènes électro-dynamiques et thermo-électriques, 86
MAGNETISME, 87
Phénomènes généraux, 87
Communication de la vertu magnétique, points conséquents, 88
Action magnétique de la terre, boussole, 89
Variations de l'aiguille de déclinaison, 90
De l'aimantation, 91
LUMIERE, 92
Transmission, etc. 93
Réflexion, 94
Miroir plan, miroirs convexes, miroirs concaves, 95
Réfraction, etc. 96
Décomposition de la lumière par réfraction, 99
Propriétés calorifiques, chimiques des rayons colorés, etc. 100
Double réfraction, 101
Polarisation, 101
Diffraction de la lumière, 102
De la vision, 102
Appareils et instruments d'obtique, 105
Appareils formés par un assemblage de miroirs et de lentilles, 107
Arc-en-ciel, 109
DE LA METEOROLOGIE, 113

FIN DE LA TABLE.

ERREURS ESSENTIELLES A CORRIGER.

Page 7, ligne 1—composisition—lisez : composition.
Idem, ligne 18 en remontant—kais—lisez : quais.
Page 15, ligne 17—laminois—lisez : laminoir.
Page 17, ligne 12 en remontant——replissant—lisez : remplissant.
Idem, ligne 3 en remontant—mouvent—lisez : meuvent.
Page 21, ligne 3—l'extrémité DC—lisez : l'extrémité D.
Page 22, ligne 7—tarrillons—lisez : tourillons.
Page 27, ligne 4 en remontant—s'élence—lisez : s'élance.
Page 31, ligne 22 en remontant—ABCD est parcé—lisez : ABCD (fig : 25 *b*) est percé.
Page 32, ligne 7 en remontant—M et N—lisez : M et N (fig : 25 *c*)
Page 35, ligne 15—(fig : 29)—lisez : (fig : 28).
Page 36, ligne 1—délaterait—lisez : dilaterait.
Page 37, ligne 8 en remontant—vaines—lisez : veines.
Page 39, ligne 26—suffisament—lisez : suffisamment.
Page 40, ligne 14—foulante—lisez : foulante (fig : 36 *a*)
Idem, ligne 22 en remontant—foulante—lisez : foulante (fig : 36 *b*)
Page 41, ligne 21—isacrones—lisez : isochrones.
Page 42, ligne 23 en remontant—isocrones—lisez : isochrones.
Idem, ligne 21 en remontant—isocronisme—lisez : isochronisme.
Page 51, ligne 5 en remontant—tranchée-artère—lisez : trachée-artère.
Page 52, ligne 2—a conduit—lisez : ont conduit.
Page 53, ligne 18—dimansions—lisez : dimensions.
Idem, ligne 20 en remontant—congellation—lisez : congélation.
Page 54, ligne 17—M'N'—lisez : M'N' (fig : 40 *a*)
Idem, ligne 18 en remontant—on a pu—lisez : on n'a pu.
Page 55, ligne 25—obscar—lisez : obscure.
Idem, lignes 26 et 27—dans le même rapport que la vitesse augmente, c'est-à-dire—Il faut retrancher tous ces mots.
Page 60, ligne 11—(fig : 41)—lisez : (fig : 41 *b*)
Page 63, lignes 22 et 23—infusile—lisez : infusible.
Page 67, ligne 3 en remontant—le petit tuyau—lisez : le petit tuyau *d*.
Idem, ligne 2 en remontant—ce tuyau—lisez : ce tuyau *N*.
Page 68, ligne 12—d'une tige—lisez : d'une tige *O*.
Idem, ligue 26—tube *n*—lisez : tube *t*.
Page 75, ligne 19—(fig : 44)—lisez : (fig : 44 *a*)
Page 81, lignes 5 et 6 en remontant—triangles scellés dans le murailles ou sur ces toits—lisez : tringles scellées dans les murailles ou sur les toits.
Page 88, ligne 7—ce dernier—lisez : le premier.
Page 96, ligne 10—GN—lisez : GN (fig : 55 *a*).
Page 98, ligne 8—divergent—lisez : émergent.
Page 110, ligne 16—goute—lisez : goutte.
Page 111, ligne 3—on—lisez : ont.
Page 112, ligne 6 en remontant—secondes—lisez : minutes.

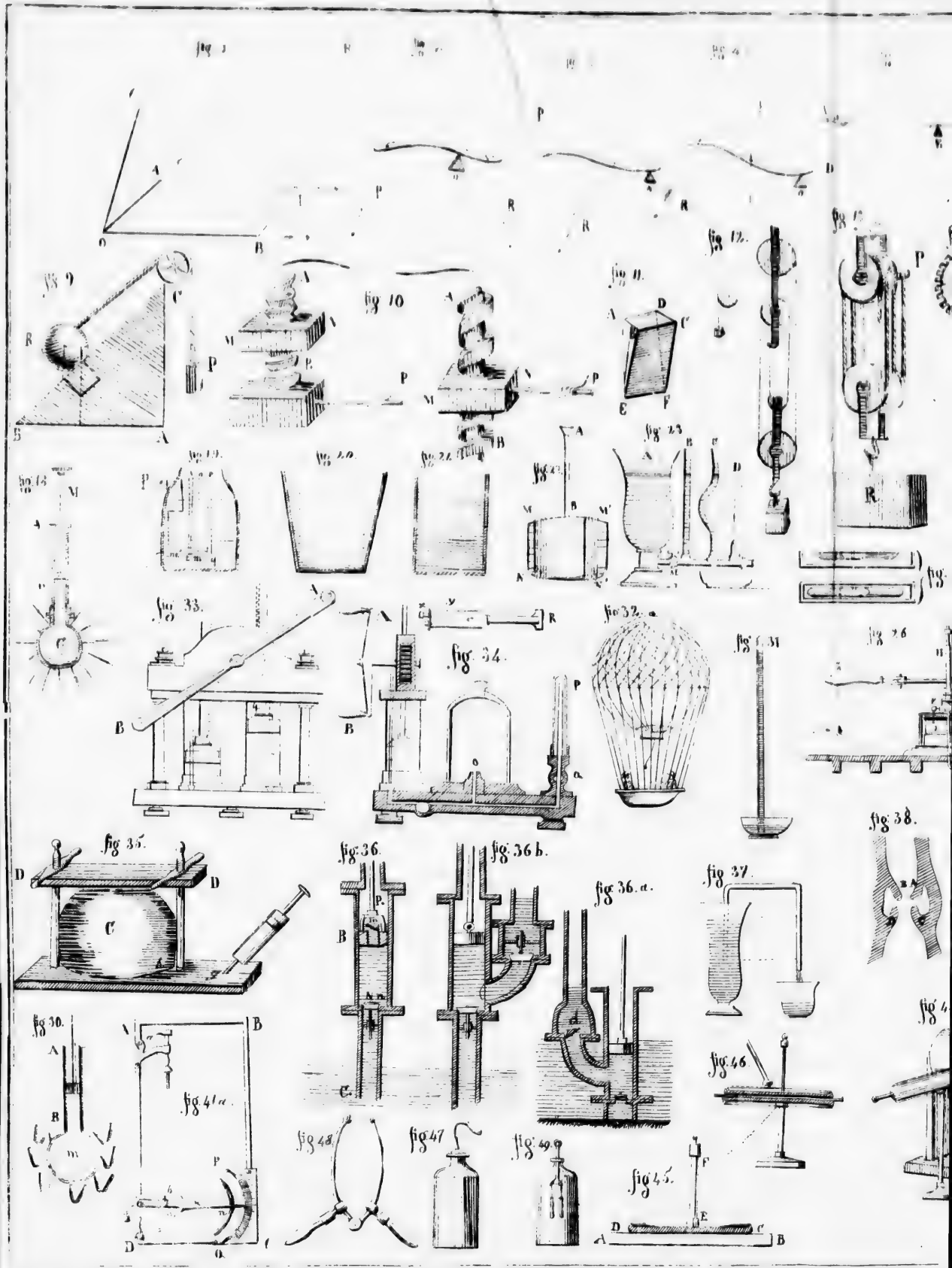
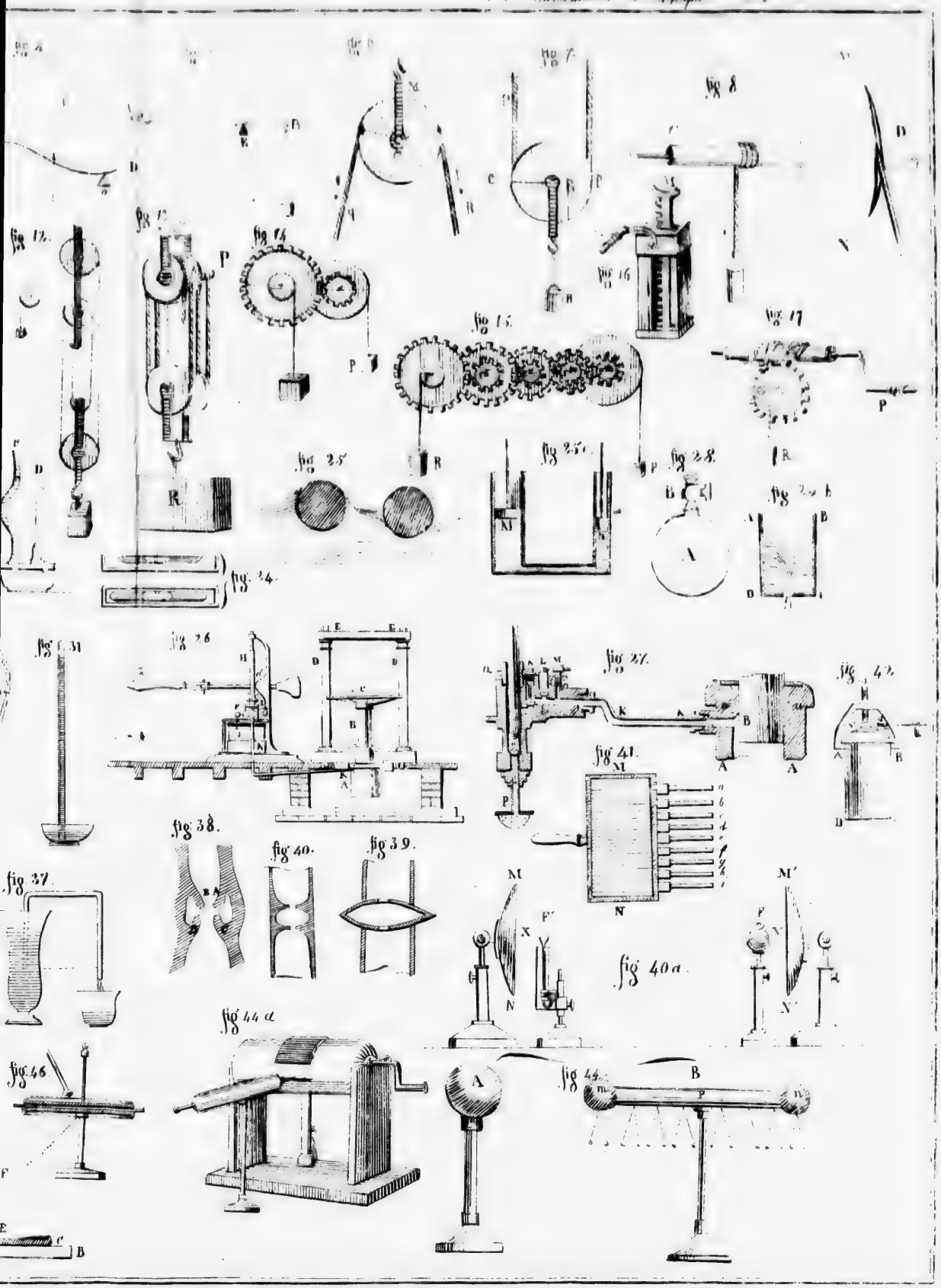


fig 9
fig 10
fig 11.
fig 12.
fig 13
fig 19.
fig 20
fig 21
fig 22
fig 23
fig 33.
fig 34.
fig 32.
fig 31
fig 26
fig 35.
fig 36.
fig 36 b.
fig 36. a.
fig 37.
fig 38.
fig 30.
fig 41 a.
fig 48.
fig 47
fig 49.
fig 45.
fig 46



Imprimerie Type Lithographique de N. Aubin et W. H. Rouen [illegible]

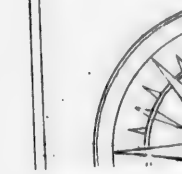


Planche 2

Fig 50

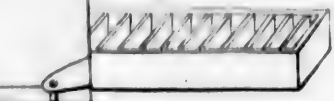


Fig 51

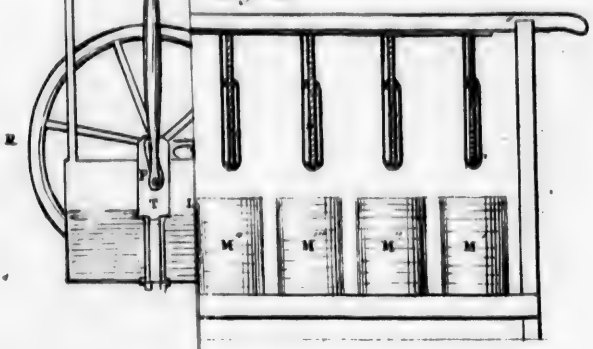
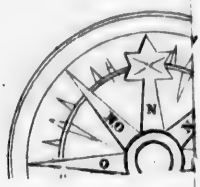


Fig 5



54

Fig 55

Fig 43

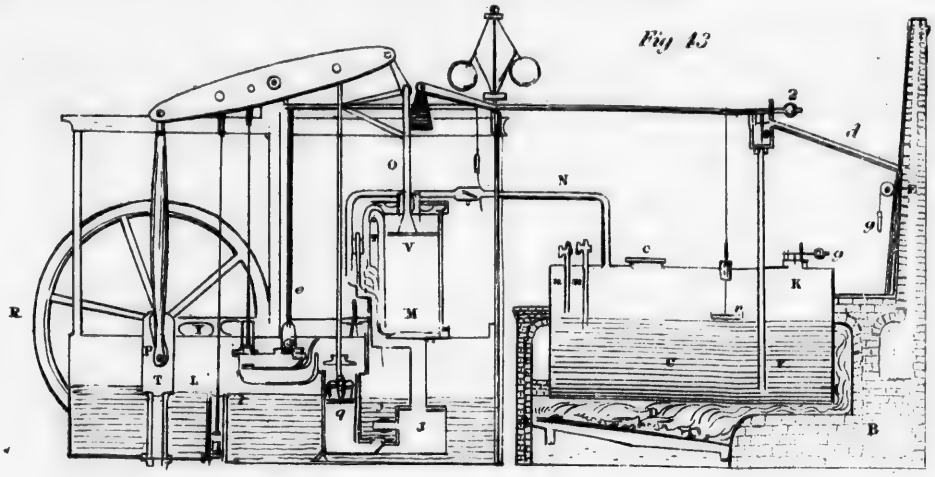


Fig 51a

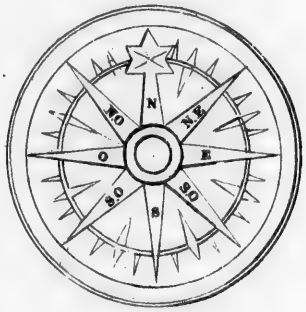
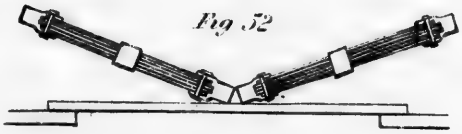


Fig 52



Fig

Fig 55

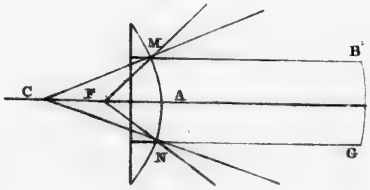


Fig 56

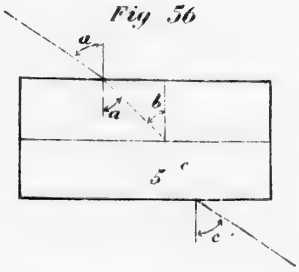


Fig 57

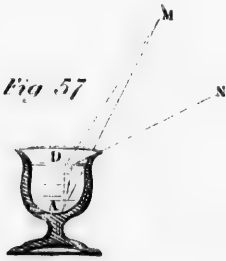


Fig 60

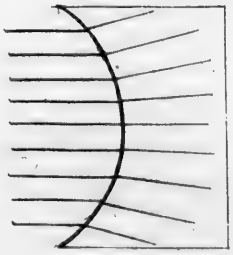


Fig 61

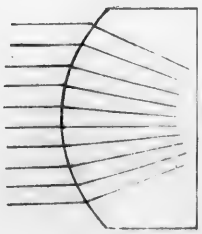


Fig 62

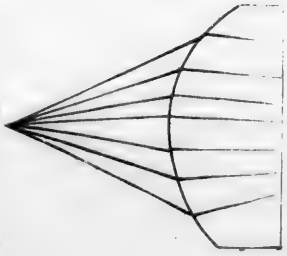
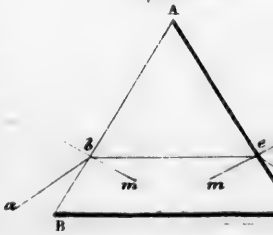


Fig 63



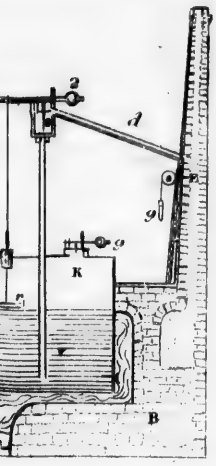


Fig 50

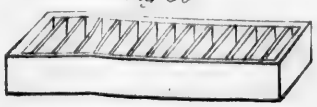
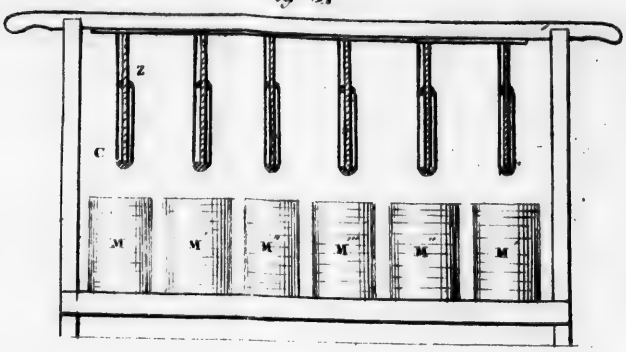


Fig 51



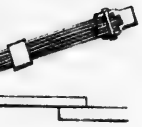


Fig 53

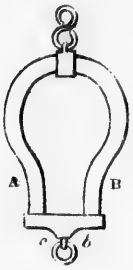


Fig 54

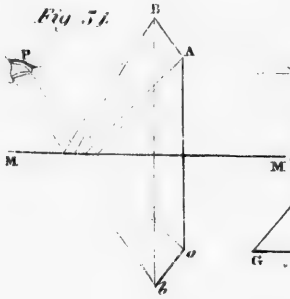
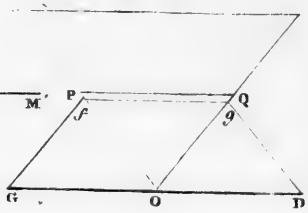


Fig 55



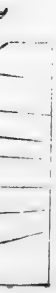


Fig 57

Fig 58

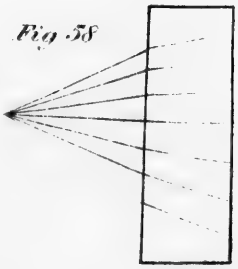


Fig 59

Fig 63

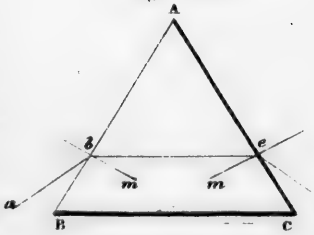


Fig 64

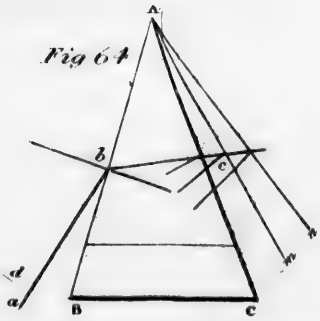


Fig 65

Fig

Fig 70

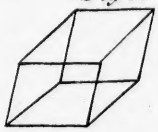


Fig 7

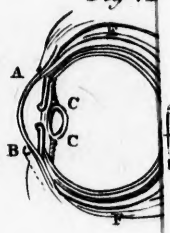


Fig 74

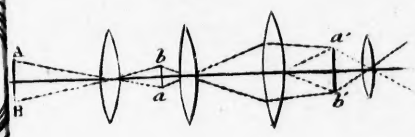


Fig 77

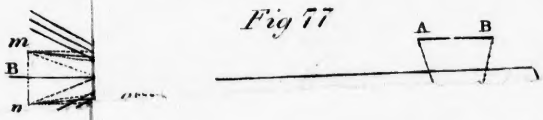


Fig 66

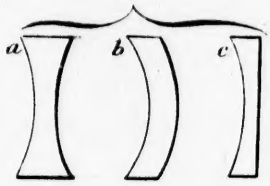


Fig 67

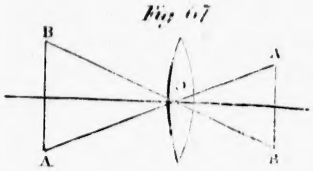


Fig 68

Fig 71

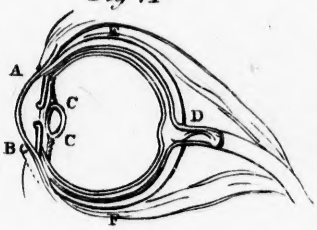


Fig 72

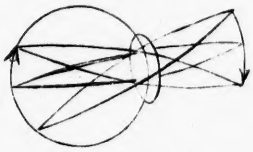


Fig 73

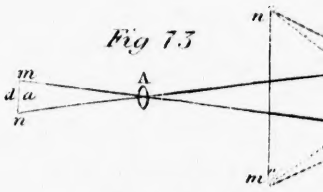


Fig 75a

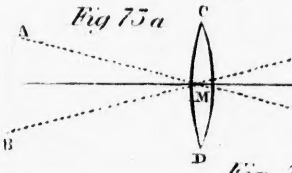
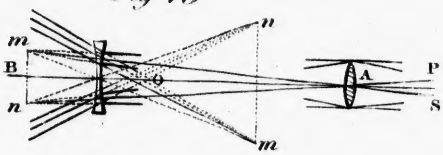


Fig 75



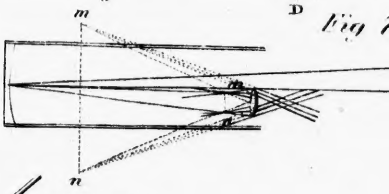


Fig 79

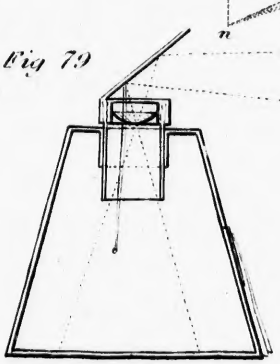


Fig 78

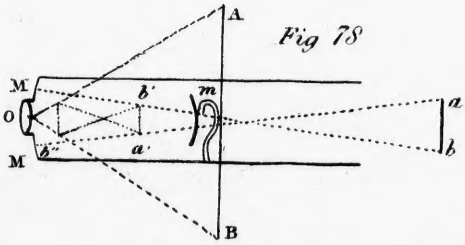


Fig 80

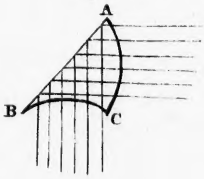


Fig 83

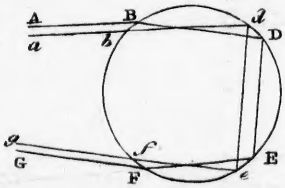
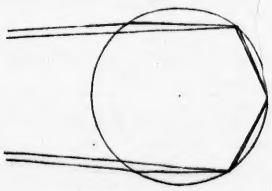


Fig 84



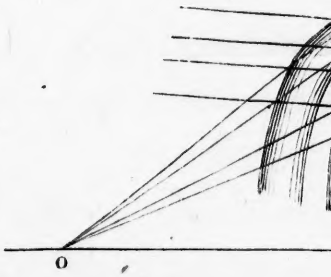


Fig 68

Fig 69

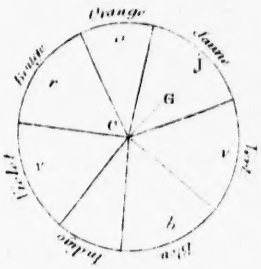


Fig 70

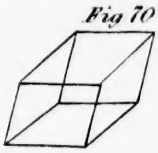


Fig 73

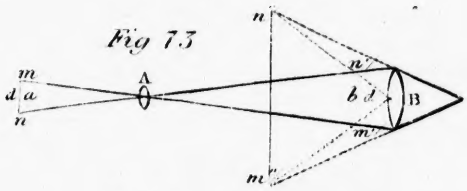


Fig 74

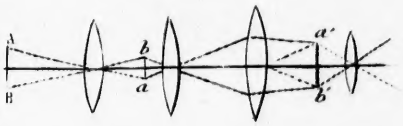


Fig 75a

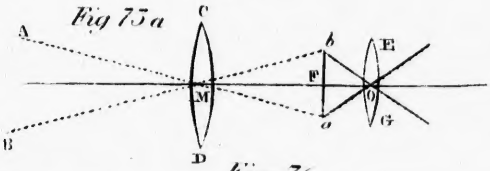


Fig 76

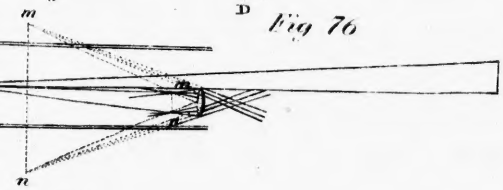


Fig 77

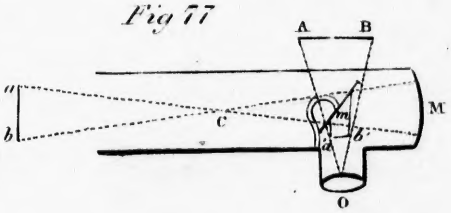


Fig 80

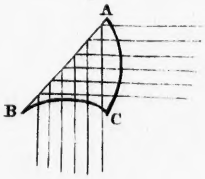


Fig 81

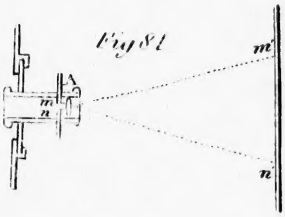


Fig 82

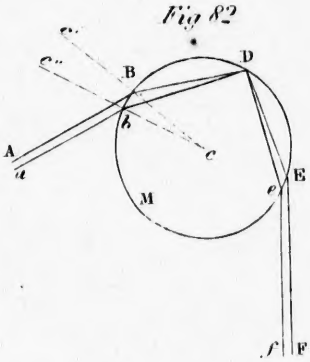


Fig 85

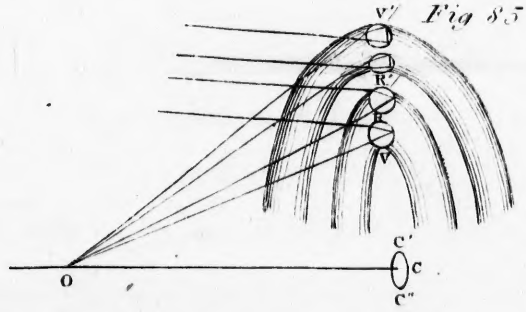


Fig 87